

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN  
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN**



# Diseño, implantación y optimización de una red LTE real

**Autora: María Durán Miñano**

**Tutor: Daniel Díaz Sánchez**



# Agradecimientos

Desde que aprobé la última asignatura de la carrera he tenido pendiente llegar a este momento. Son muchas las personas que me han apoyado y a todos quiero dar las gracias. No solo por su apoyo sino también por su paciencia cuando las situaciones han sido difíciles. Especialmente quiero dar las gracias a Daniel, mi tutor, por la confianza depositada en mí, sin él no habría llegado hasta aquí. A mis hermanos y a mis primas, que han estado siempre conmigo. A mis amigas, por ser parte de mi familia. Pero principalmente tengo que dar las gracias a las personas que más debo. A mis padres, por su esfuerzo en darme la mejor educación y a mi marido por ser único en el mundo y sacar lo mejor de mí.

*El tiempo que perdiste por tu rosa hace que tu rosa sea tan importante.*

*El Principito - Antoine De Saint-Exupéry*

***Para Martín***

# Resumen

Los últimos años del sector de las telecomunicaciones se han caracterizado por la incorporación de dos nuevos conceptos, aplicaciones multimedia y convergencia. Mientras que la tendencia a finales de la década del 2000 se centraba en conseguir la mejor cobertura y ofrecer los terminales más pequeños, la llegada al mercado del iPhone® en 2007 lo cambió todo.

Ya no sólo valía con garantizar calidad de servicio de la voz, ahora también estaban los datos. No sólo valía con ofrecer tarifas de datos, había que asegurar que ofrecían conexiones rápidas que soportaran todas las demandas de los usuarios. Para ello, las operadoras comenzaron un proceso de renovación de sus redes. Migrar toda la tecnología que había sido buena para 2G y 3G a equipos más modernos y prepararse para la llegada del nuevo estándar móvil, LTE. Además se tuvieron que lanzar al mercado tarifas de datos que fueran competitivas convergiendo los servicios de móvil y fijo.

En los siguientes capítulos se describirá el proceso de despliegue de una red LTE en un Municipio de Madrid. Se explicarán todos los pasos a seguir, desde cómo se elabora un Plan de Red hasta las medidas que dan una estación por activada.



# Abstract

Telecommunications Sector has been characterized by two new concepts in recent years, multimedia applications and convergence. At the end of 2000's, Mobile Operators targets were coverage and small terminals. But everything changed when iPhone® appeared in 2007.

Data Applications appeared and it was needed to improve their QoS. Mobile Operators had to change their visión of Network and started to refresh them for the appearance of LTE. Voice and data must be guaranteed with the new requirements of the users.

In the next chapters will be developed the Roll Out of LTE Network in a big town of the south of Madrid. End to End Procees will be explained since the Network Plan until the performance of KPIs to approve a new station.





# Índice general

<b>Resumen .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Motivación del Proyecto .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Contenido de la Memoria .....</b>	<b>19</b>
<b>Estado del arte .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Objetivo del capítulo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Evolución Comunicaciones Móviles en España .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Introducción .....	21
2.2.2 Primera Generación – 1G .....	23
2.2.3 Segunda Generación – GSM .....	26
2.2.4 Tercera Generación – UMTS.....	31
2.2.5 Cuarta Generación - LTE .....	37
<b>2.3 Evolución Arquitectura Red de Acceso .....</b>	<b>41</b>
2.3.1 Redes Móviles Plesiócronicas .....	41
2.3.2 Redes Móviles Ethernet.....	42
<b>Introducción a Proyectos de Red.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Objetivo del capítulo.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Evolución de un Proyecto.....</b>	<b>45</b>
<b>Fase de Planificación .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Bases del Proyecto.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Grupos involucrados en Proyecto.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3 Plan de Tiempos .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4 HLD .....</b>	<b>56</b>
4.4.1 Introducción .....	56
4.4.2 Soluciones de Transmisión Red LTE.....	58
4.4.3 Arquitectura Actual Red Operador.....	59
4.4.4 Conexiones Capa de Acceso .....	61
4.4.5 Conexiones Capa de Agregación .....	61
4.4.6 Conexiones en el POP .....	62
<b>4.5 LDD .....</b>	<b>63</b>
4.5.1 Escenarios Acceso.....	63
4.5.2 Escenarios Agregación.....	66

<b>4.6 Plan de Red.....</b>	<b>69</b>
4.6.1 Selección de emplazamientos .....	69
4.6.2 Topología Acceso y Agregación .....	70
4.6.3 Estudio de necesidades .....	72
<b>4.7 Presupuesto .....</b>	<b>77</b>
<b>Fase de Ejecución .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 Introducción .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2 Diseño Ampliaciones.....</b>	<b>81</b>
5.2.1 Ampliación PMW .....	81
5.2.2 Ampliación Anillo FO .....	101
<b>5.3 Migración de Tráfico .....</b>	<b>102</b>
5.3.1 Comparativa Topología Actual y Topología futura.....	103
5.3.2 Trabajos previos .....	104
5.3.3 Ejecución de la Migración.....	105
5.3.4 Post Mortem.....	105
<b>5.4 Activación Nodo LTE .....</b>	<b>105</b>
<b>Fase de Entrega .....</b>	<b>109</b>
<b>6.1 Medidas Drive Test .....</b>	<b>109</b>
<b>6.2 Medidas Transmisión.....</b>	<b>113</b>
<b>6.3 Costes Finales .....</b>	<b>114</b>
<b>Conclusiones y Trabajos Futuros .....</b>	<b>115</b>
<b>Acrónimos.....</b>	<b>116</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>120</b>
<b>7.1 Evolución Estándar UMTS .....</b>	<b>120</b>
7.1.1 Release 4.....	120
7.1.2 Release 5.....	121
7.1.3 Release 6.....	122
7.1.4 Release 7.....	123
<b>7.2 Equipos PTN .....</b>	<b>124</b>
7.2.1 PTN 910.....	124
7.2.2 PTN 1900.....	124
7.2.3 PTN 3900.....	125
<b>7.3 Equipos PMW .....</b>	<b>126</b>
7.3.1 MSS-0.....	126
7.3.2 MSS-1c .....	127
7.3.3 MSS-4.....	127
7.3.4 MSS-8.....	128
<b>7.4 Equipos ALU Anillos FO .....</b>	<b>128</b>
7.4.1 Alcatel 1660 .....	128

7.4.2	Alcatel 1662 .....	129
7.5	Aplicar Factores de Crecimiento .....	129
7.6	Índices de Intensidad por Lluvia .....	131
	Bibliografía.....	132

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Arquitectura Red Primera Generación .....	24
Ilustración 2. Arquitectura Red GSM (4) .....	27
Ilustración 3. Red Celular.....	28
Ilustración 4. Técnicas de Acceso al medio - FDMA .....	29
Ilustración 5. Técnicas de Acceso al medio - TDMA .....	29
Ilustración 6. Técnicas de Acceso al medio - CDMA.....	30
Ilustración 7. GSM & GPRS .....	31
Ilustración 8. Arquitectura Red UMTS (9) .....	33
Ilustración 9. Núcleo de Red en UMTS (9).....	34
Ilustración 10. Red de Acceso Radio UMTS (10).....	35
Ilustración 11. Release 8. LTE .....	38
Ilustración 12. Comparativa 2G/3G con LTE (11) .....	38
Ilustración 13. Arquitectura Red LTE .....	39
Ilustración 14. Trama Básica Ethernet (14) .....	43
Ilustración 15. Fases de un Proyecto .....	46
Ilustración 16. Mapa de Cobertura 4G (18).....	50
Ilustración 17. Interacción Departamentos Proyecto .....	52
Ilustración 18. Cronograma Fase I Despliegue LTE.....	54
Ilustración 19. Cronograma Fase Producción Despliegue LTE .....	55
Ilustración 20. Arquitectura LTE (16).....	57
Ilustración 21. Arquitectura LTE+UMTS .....	58
Ilustración 22. Arquitectura de Red .....	59
Ilustración 23. Protección FTTN.....	64
Ilustración 24. Topologías PMW Acceso (17) .....	64
Ilustración 25. Topología en Anillo PMW .....	65
Ilustración 26. Esquema Red Agregación .....	66
Ilustración 27. Estaciones Desplegadas en Leganés.....	70
Ilustración 28. Topología en Agregación .....	71
Ilustración 29. PDR Acceso Leganés .....	72
Ilustración 30. PDR Agregación Leganés .....	72
Ilustración 31. Tráfico POC I .....	73
Ilustración 32. Tráfico POC II .....	74
Ilustración 33. Menú Acceso IQ-LINK .....	82
Ilustración 34. Diseño IQ-LINK®. Crear Site. ....	83
Ilustración 35. Diseño IQ-LINK. Información General .....	84
Ilustración 36. Perfil IQ-LINK.....	86
Ilustración 37. Selección Frecuencia .....	86
Ilustración 38. Asignar Equipos Radio (I/II) .....	87
Ilustración 39. Asignar Equipos Radio (II/II) .....	88
Ilustración 40. Selección de Antenas (I/II).....	90
Ilustración 41. Selección de Antenas (II/II).....	90
Ilustración 42. Añadir Guía de Onda. ....	91
Ilustración 43. Menú Diseño.....	92

Ilustración 44. Fade Margin (I/II) .....	93
Ilustración 45. Fade Margin (II/II) .....	93
Ilustración 46. Índice de Lluvia (I/II) .....	93
Ilustración 47. Índice de Lluvia (II/II) .....	93
Ilustración 48. Ubicación del Radioenlace.....	94
Ilustración 49. Link Location Inland .....	95
Ilustración 50. Link Coastal .....	95
Ilustración 51. Disponibilidad del vano. ....	95
Ilustración 52. SES.....	96
Ilustración 53. Análisis de Interferencias. Pantalla Principal.....	97
Ilustración 54. Radio de análisis & Selección de frecuencias .....	97
Ilustración 55. Parámetros IRF .....	98
Ilustración 56. Detalle Análisis Interferencia (I/II).....	99
Ilustración 57. Detalle Análisis Interferencia (II/II).....	99
Ilustración 58. Anillo Fibra a Ampliar .....	101
Ilustración 59. Matriz Ocupación Anillo FO .....	102
Ilustración 60. Topología Acceso Migración PMW.....	103
Ilustración 61. Esquema Red Adecuada LTE.....	105
Ilustración 62. Comprobación de Alarmas .....	107
Ilustración 63. Test & Check .....	107
Ilustración 64. Drive Test 280747 .....	110
Ilustración 65. Relación SINR y SNR.....	112
Ilustración 66. SINR con Distancia. ....	112
Ilustración 67. Ocupación POC I .....	113
Ilustración 68. UMTS Release 4 .....	120
Ilustración 69. UMTS Release 5 .....	121
Ilustración 70. UMTS Release 6 .....	122
Ilustración 71. UMTS Release 7 .....	123
Ilustración 72. PTN 910.....	124
Ilustración 73. PTN 1900.....	125
Ilustración 74. PTN 3900.....	125
Ilustración 75. Equipo PMW MSS-0.....	126
Ilustración 76. Equipo PMW MSS-1c.....	127
Ilustración 77. Equipo PMW MSS-4.....	127
Ilustración 78. Equipo PMW MSS-8.....	128
Ilustración 79. ALU 1660.....	128
Ilustración 80. ALU 1662.....	129
Ilustración 81. Índices de Intensidad por Lluvia .....	131

# Índice de cuadros

Tabla 1. Evolución Estándar UMTS .....	36
Tabla 2. Comparativa Estándares Telefonía Móvil .....	41
Tabla 3. Jerarquía E1.....	42
Tabla 4. Jerarquía STM-1 .....	42
Tabla 5. Criterio Dimensionamiento HUB & POC.....	62
Tabla 6. Configuraciones Permitidas en Agregación .....	69
Tabla 7. Transmisión Estaciones en Acceso .....	70
Tabla 8. Necesidades Despliegue LTE Leganés.....	74
Tabla 9. Presupuesto Acceso y Agregación Despliegue LTE Leganés.....	77
Tabla 10. Coste OPEX (k€).....	78
Tabla 11. Coste OPEX Neto (k€).....	79
Tabla 12. Ruta Presente 2870402.....	103
Tabla 13. Ruta Futura 2870402 .....	103
Tabla 14. . Ruta Presente 2870407.....	104
Tabla 15. . Ruta Futura 2870407 .....	104
Tabla 16. Ruta Presente 2807410.....	104
Tabla 17. Ruta Futura 2870410 .....	104
Tabla 18. Subred S1/X2.....	106
Tabla 19. Subred NTP .....	106
Tabla 20. Subred O&M .....	106
Tabla 21. Coste Total Despliegue LTE Leganés.....	114
Tabla 22. Factores Crecimiento LTE .....	129

# Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. SINR en función SNR.....	111
Ecuación 2. Tráfico Proyectado .....	129
Ecuación 3. Relación Factores de Crecimiento.....	130





# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Motivación del Proyecto

En los últimos diez años los usuarios de telefonía móvil hemos experimentado una evolución constante de los servicios ofrecidos por los operadores de la red. ¿Quién nos iba a decir en los inicios del siglo XXI que al final de su primera década podríamos estar hablando con un ciudadano del otro lado del mundo utilizando una conexión de datos de nuestro terminal móvil o que podríamos ver un partido de fútbol en directo desde la orilla del mar con un dispositivo táctil con una pantalla de 10 pulgadas?

El aumento de la demanda del uso de datos móviles junto con la necesidad de los usuarios de estar conectados en cualquier lugar en todo momento hace que las operadoras de Telefonía Móvil se planteen una renovación de la red para optimizar sus recursos garantizando, ante todo, una cobertura excelente y servicios de alta calidad.

LTE es un estándar de la norma 3GPP que mejora el servicio móvil en cuanto a las necesidades demandadas por los usuarios. Su velocidad de conexión garantiza una ventaja sobre el resto de tecnologías móviles existentes. Todos los usuarios disfrutarán de conectividad *End To End (E2E)* dando alta calidad de servicio (en adelante, QoS) y asegurando una movilidad total sobre una conexión en IP.

Para proveer LTE en un área poblacional, las operadoras necesitan desplegar nuevos equipos o evolucionar los existentes. Todo el proceso dará como resultado una red en IP en la que el tráfico de conmutación de circuitos pase a ser sustituido por tráfico de paquetes.

## 1.2 Objetivos

El objeto de este documento es describir el proceso de diseño, implantación y optimización de una Red LTE en un área poblacional respetando una serie de criterios que garanticen unos niveles cobertura y QoS acordados por un operador de telefonía móvil.

En los siguientes capítulos se describirán algunas de las etapas más relevantes del proceso de despliegue y/o renovación de una red de telefonía móvil desarrollado por un operador nacional:

- Selección de candidatos.
- Revisión del impacto financiero del Proyecto, Business Case (BC).
- Visitas a los candidatos y replanteos en campo.
- Elaboración del plan de despliegue y/o renovación en función de la evaluación de las soluciones planteadas tras el replanteo y las necesidades de equipos e infraestructuras.
- Diseño de la red.
- Implantación y puesta en servicio.
- Optimización.

Los departamentos involucrados en este proceso pertenecen a distintas áreas que van desde la financiera hasta la de clientes pasando por el de ingeniería que realiza el montaje de una torre o la adecuación de un emplazamiento. Este proyecto se centrará en los aspectos técnicos que ofrece la tecnología LTE, dando una visión de diseño y optimización desde el punto de vista de planificación y transporte.

## 1.3 Contenido de la Memoria

El contenido de esta memoria está estructurado en una serie de capítulos en función del objetivo de los trabajos descritos en el mismo:

- **Capítulo 2 – Estado del Arte**

Este capítulo describe la evolución de las comunicaciones móviles en función de las necesidades de cada momento y las tecnologías disponibles. Se hace un resumen de cada tecnología desde la primera generación hasta la llegada del LTE explicando la arquitectura de red así como las características más importantes aportadas por cada estándar.

- **Capítulo 3 – Introducción a los Proyectos de Red**

Este capítulo describe las fases por las que pasa un proyecto destinado al despliegue de la red móvil. Se indican qué funciones son las más importantes en cada fase y la duración de cada una de ellas.

- **Capítulo 4 – Fase de Planificación**

Este capítulo describe la Fase de Planificación de un Proyecto. Cuáles son las bases del Proyecto, los grupos involucrados, las bases técnicas y el presupuesto inicial con el que cuenta. Es el capítulo más extenso debido a que incluye todo el fundamento teórico sobre el que basar el despliegue LTE.

- **Capítulo 5 – Fase de Ejecución**

Este capítulo describe la Fase de Ejecución de un Proyecto. Se centra en explicar cómo realizar los diseños de adecuación de la red y las pruebas previas a la puesta en servicio de un Nodo LTE.

- **Capítulo 6 – Fase de Entrega**

Este capítulo describe la Fase de Entrega de un Proyecto. Se centra en las pruebas a realizar para demostrar que se han cumplido los KPIs de calidad marcados y evalúa el coste total del proyecto.

# Capítulo 2

## Estado del arte

### 2.1 Objetivo del capítulo

El objeto de este capítulo es analizar la evolución de las comunicaciones móviles en España desde su implantación hasta la llegada del LTE.

Se proporcionará una visión general de las mejoras realizadas en cada estándar y se identificarán todas las necesidades que llevaron a su implantación. Se describirán sus principales características y se analizará la arquitectura de red de cada uno de ellos.

### 2.2 Evolución Comunicaciones Móviles en España

#### 2.2.1 Introducción

El primer contacto en España con la telefonía móvil se produjo en la segunda mitad de la década de los setenta. La Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE) desarrolló en las áreas de Madrid y Barcelona un servicio de comunicación en vehículos denominado TAV (Teléfono Automático Vehículos) (1).

No obstante, no fue hasta principios de la década de los ochenta cuando se tuvo el primer contacto con la Telefonía Móvil tal y como hoy la conocemos hoy en día. En 1982 la CTNE lanza el primer sistema de telefonía móvil celular en España utilizando como base el TMA-450, un estándar desarrollado en los países nórdicos en la banda de 450Mhz.

La creciente saturación del espectro radioeléctrico así como el aumento en la demanda de telefonía móvil hacen que la CTNE lance *MoviLine* a principios de los años noventa. Se trata de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar TACS que opera en la banda de 900Mhz.

En 1990 se completa el estándar GSM (Del inglés, Global System for Mobile Communications) desarrollado en la banda de 900 MHz y en 1991 el estándar DCS-1800 (Del inglés, Digital Cellular System) que dobla la frecuencia de GSM-900, aportando mayor

ancho de banda al tener mayor número de canales disponibles aunque limita el área de cobertura al tener mayor absorción. Dos años más tarde, Nokia, la que sería empresa líder en venta de terminales en la década de los noventa lanza al mercado el primer móvil GSM, el Nokia 1011. Ese mismo año, la CTNE cambia su nombre por Telefónica S.A.

En 1994 llega a Europa la tecnología GSM y el Gobierno de España decide abrir el mercado otorgando dos licencias, uno se asignará a Telefónica, que lo comercializará bajo el nombre de *Movistar* y otra saldrá a concurso público siendo adjudicada al Consorcio Airtel-Sistemcom-Reditel, hoy llamado Vodafone España.

En 1996, el Gobierno decide hacer tres concesiones en la banda del espectro de 1800Mhz y poder así desplegar tecnología basada en el estándar DCS-1800. Dos son para las adjudicatarias actuales del espectro, adquiriendo la concesión de manera automática, y una tercera se otorga a un nuevo operador, Retevisión, que entró en el mercado bajo el nombre de *Amena*, hoy llamado Orange España.

En 1999, ante el inminente despliegue de Amena, el Gobierno fuerza a Telefónica y Airtel a firmar el acuerdo ASPIR (Acuerdo de Suministro Provisional de Infraestructura de Red). En él se obliga a Telefónica y a Airtel a ceder cobertura en la banda de 900Mhz al nuevo operador. Este acuerdo estuvo vigente hasta noviembre del año 2000 (2).

Dos hechos marcan el año 2000. Por un lado se otorgan cuatro licencias para desplegar tecnología UMTS, tres pasan automáticamente a Orange, Telefónica y Airtel y una se otorga a una nueva operadora llamada Xfera, que posteriormente pasará a ser Yoigo. Por otro lado la CMT (Comisión Mercado de las Telecomunicaciones) regula la portabilidad entre operadoras, un usuario podrá cambiarse de compañía sin cambiar de número de teléfono. Un año más tarde Airtel pasa a estar controlada accionarialmente por Vodafone, pasandose a llamar Vodafone España.

En 2005, tres años más tarde del lanzamiento al mercado de la tecnología UMTS, Amena pasa a estar controlada accionarialmente por France Telecom, pasándose a llamar, un año más tarde, Orange España. Este mismo año, la CMT vuelve a regularizar el mercado obligando a todas las operadoras a alquilar sus redes, es aquí cuando nacen las primeras OMVs (Operadores Móviles Virtuales).

En 2009 salta al mercado LTE, un nuevo estándar que cumple con la misión de aumentar la velocidad de voz y datos para todos los usuarios de la red. Hoy en día, LTE es una realidad. Habiendo sido desplegado en todas las capitales importantes del país por las tres grandes operadoras, la batalla por ser el líder del mercado está más igualada que nunca siendo la convergencia con las redes de telefonía fija la clave para ganarla.

### 2.2.2 Primera Generación – 1G

Las primeras redes móviles llegaron en la década de los ochenta causando un gran revuelo entre los usuarios al ofrecer uno de los mayores avances en la historia de la telefonía: la movilidad.

Los sistemas de primera generación se basaban en tecnologías analógicas para la transmisión de voz y en tecnologías digitales para el transporte de la señalización. Ofrecían servicio de voz y datos con capacidad limitada<sup>1</sup>, dotando a los terminales de módems analógicos. Además se podrían contratar servicios de valor añadido tales como buzón de voz, llamada en espera y desvío de llamadas.

Tal y como se mencionó en el apartado anterior, los estándares desarrollados que tuvieron mayor impacto en España fueron (3):

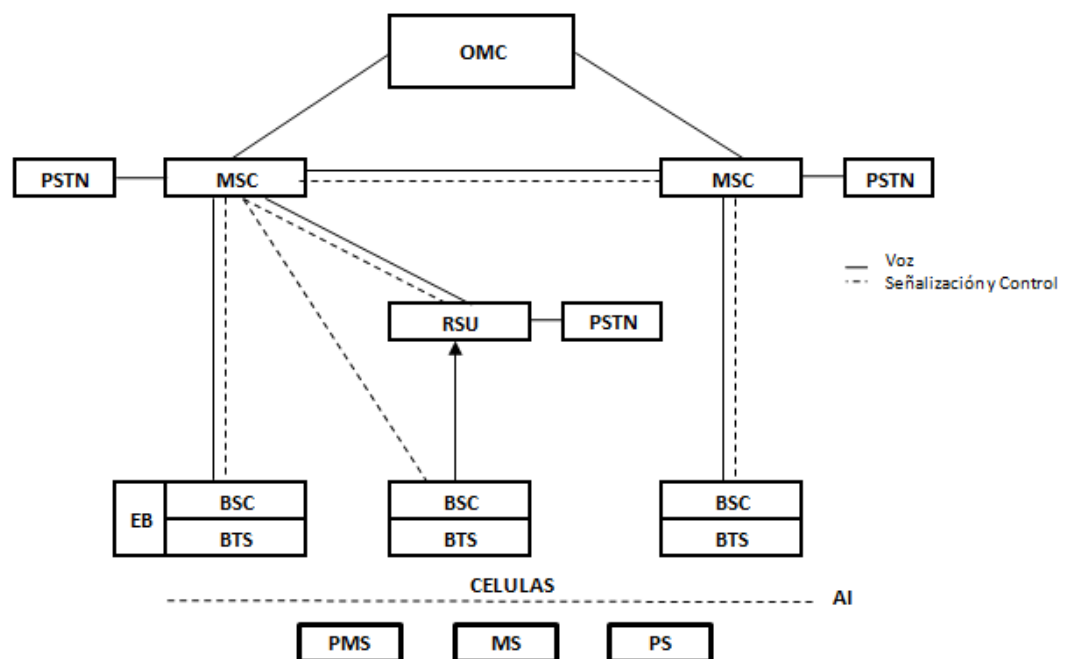
- **AMPS** (Del inglés, Advanced Mobile Phone System): Desarrollado por los laboratorios Bell, fue el estándar utilizado en América, África, Europa del Este y Rusia. Utilizaba la banda de 800 MHz. En Inglaterra y en Japón se implantó bajo los nombres TACS y MCS-L1 (2).

---

<sup>1</sup> Capacidad de transmisión de hasta 480bps

- **TACS** (Del inglés, Total Access Communication System): Basado en el estándar AMPS pero adaptado a las necesidades europeas en cuanto a bandas de frecuencia (900 MHz) y canalización se refiere. Se implantó en la mayor parte de Europa y fue el primero con el que se operó en España. Fue comercializado por Telefónica bajo la marca *Moviline*.
- **NMT** (Del inglés, Nordic Mobile Telephone): Estándar desarrollado en los países nórdicos en dos variantes en función de la banda de frecuencia bajo la que se desarrolla: NMT-450 y NMT-900 (3). El NMT-450 se utilizó en España a finales de los años ochenta.

La arquitectura de las redes de primera generación se muestra en el siguiente esquema:



**Ilustración 1: Arquitectura Red Primera Generación**

- **OMC** (Del inglés, Operations and Maintenance Center) es la central encargada de operación y mantenimiento de la red.



- **MSC** (Del inglés, Mobile Switching Central) es la central de conmutación móvil. Su labor principal es interconectar a los usuarios de la red móvil con los de la red fija (PSTN) o los de la red móvil entre sí. Para ello está conectada con todas las BSCs de su área de cobertura y dispone de bases de datos con toda la información de los usuarios denominadas HLR (Del inglés, Home Location Register) y VLR (Del inglés, Visitor Location Register).
- **RSU** (Del inglés, Remote Switching Units) son equipos de enrutamiento que se utilizan para encaminar el tráfico hacia la MSC.
- **EB** (Estación Base, en inglés se denomina BS) su función es dotar de cobertura y conectividad a los usuarios que se encuentran situados en un área de cobertura. Está formada por los equipos radio que dotan la cobertura (BTS) y sus controladores (BSC).
- **CELULAS** son áreas geográficas de cobertura definidas por las EBs. En función del número de sectores de radiación con el que se diseñe cada BTS, una EB podrá tener una o más células. Si tiene más de una célula se deberá disponer de un equipo de radiación distinto para cada sector de orientación.
- **PMS (Del inglés, Porta Mobile Station), MS (Del inglés, Mobile Station), PS (Del inglés, Portable Station)** son los tres equipos que los usuarios pueden utilizar en las redes de primera generación.

Con todos estos elementos en mente, el proceso en el que un usuario establecería una llamada se resume en:

1. El usuario hace una llamada en un área geográfica que es captada por una BTS a través del Interfaz Aire (AI).
2. La BTS envía, a través de la red de transmisión, información de la llamada hasta la MSC. Puede ir por una conexión directa o pasando por varios puntos intermedios en función del diseño del enrutamiento.

3. La MSC recibe toda la información de la llamada y la encamina hacia la red fija o hacia la red móvil.
4. En el caso de que la llamada se curse dentro de la red móvil, la MSC envía información a las EB correspondientes (en función de una consulta en sus bases de datos internas). El usuario final recibe la llamada en un circuito dedicado.
5. Se transmite la voz.

Tras la implantación de la tecnología de primera generación había que dar solución a dos inconvenientes, no era posible la transmisión de datos y el uso de *señalización en banda* hacía que los usuarios pudieran percibirla.

### **2.2.3 Segunda Generación – GSM**

La *Segunda Generación Móvil* llegó para aportar mayor capacidad del espectro radioeléctrico. Para ello utilizaba sistemas digitales que permitían mayor número de enlaces simultáneos. Además, integró nuevos servicios como el SMS (Del inglés, Short Message Service) y la transmisión de datos a baja velocidad<sup>2</sup>.

El estándar GSM fue desarrollado a partir de 1982 con la participación de más de veinticinco compañías europeas de telefonía móvil. De esta forma se crearía un único estándar europeo y se evitarían incompatibilidades entre estándares tal y como sucedió con la tecnología 1G (4). En 1992, diez años más tarde, las redes GSM comenzaron a funcionar en Europa.

---

<sup>2</sup> Hasta 14.4 kbps

La arquitectura de la red GSM se define en el siguiente esquema:

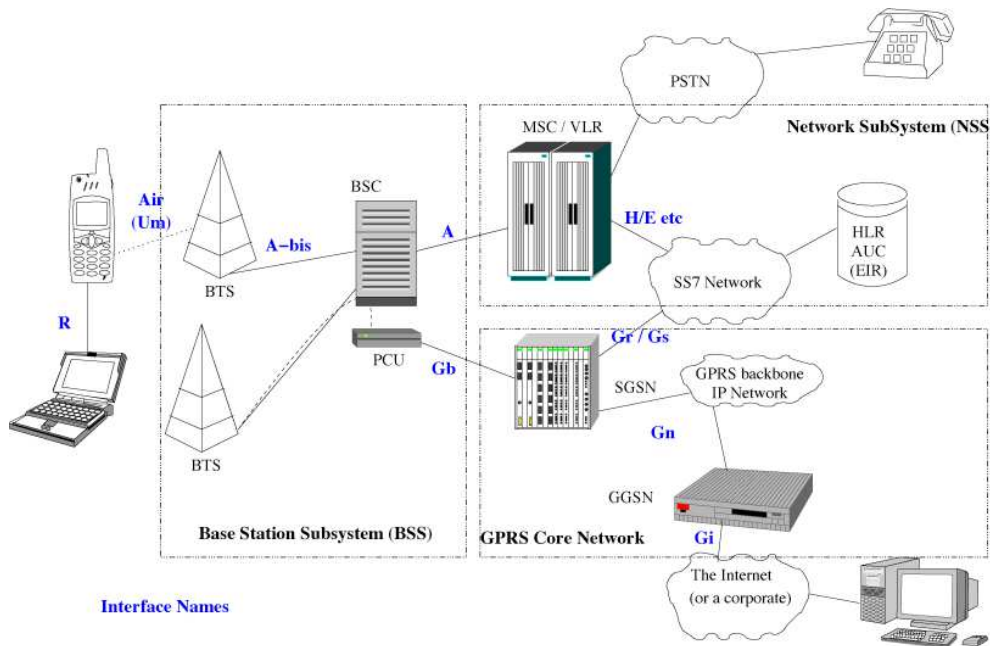


Ilustración 2. Arquitectura Red GSM (4)

El estándar GSM aporta nuevas entidades y funcionalidades respecto a la primera generación de móviles:

- **MS** (Del inglés, Mobile Station) es el terminal móvil que vimos en la primera generación móvil. Consta del equipo transmisor y/o receptor y de la tarjeta SIM (Del inglés, Subscribir Identity Module). Esta tarjeta es obligatoria en el uso de redes GSM y sirve para identificar y logar al usuario en la red.
- **BSS** (Del inglés, Base Station Subsystem) es el subsistema de estaciones base. Análogo a la EB de la primera generación. Está formado por un conjunto de estaciones BTS y una BSC que las controla. Su función principal es el reparto de frecuencias y el control de potencia de terminales y estaciones base.
- **NSS** (Del inglés, Network Subsystem) es el subsistema de conmutación de red o núcleo de red (En inglés, Core Network) (5). Está formado la **MSC** y tiene las siguientes funciones:

- Determinar a qué MSC debe enviar la llamada, en estos términos nos referimos a la MSC como *Gateway MSC*.
- Interconectar a los usuarios de la red móvil con otras redes, incluidas las fijas.
- Identificación de los usuarios de la red mediante el acceso a los registros de ubicación y visitas (HLR y VLR). Este paso nos dará, además de la información básica de los usuarios, la posibilidad de saber si tienen saldo disponible para las llamadas y el tipo de contrato que tienen establecido.

El objetivo de la red GSM es optimizar la capacidad del espectro, por lo que la base de la red GSM es la reutilización de frecuencias. La reutilización de frecuencias se debe realizar guardando una distancia suficiente que evite interferencias y problemas de calidad. A cada área en la que se puede utilizar una frecuencia determinada se le denomina **Celda**.

La red GSM es una red celular formada por celdas radio que cubren distintas áreas proporcionando una cobertura global a los usuarios. Las redes de celdas son inherentemente asimétricas con un conjunto fijo de transceptores principales, cada uno sirviendo una celda y un conjunto de transceptores distribuidos, generalmente móviles (7).

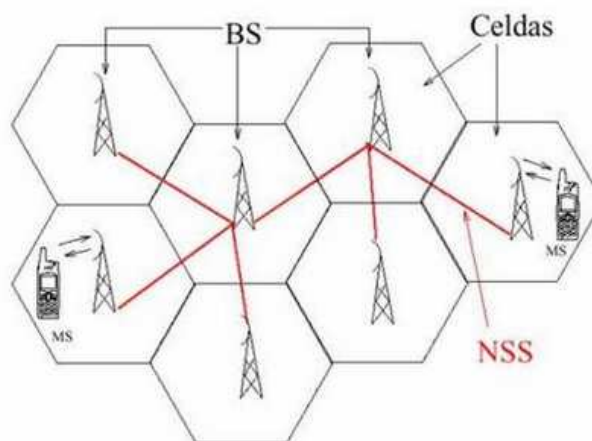


Ilustración 3. Red Celular

Hay cinco tipos de celdas en función del tamaño o el área de cobertura que abarcan: **Macro Celdas** (ubicadas en azoteas o torres), **Micro Celdas** (ubicadas en edificios a menos altura, suelen cubrir núcleos urbanos), **Pico Celdas** (utilizadas en diseños especiales como centros comerciales u hospitales), **Femto Celdas** (utilizadas para diseños especiales con menos tamaño como casas de clientes vips o negocios pequeños) y **Celdas Paraguas** (para cubrir puntos negros en áreas ya cubiertas).

El funcionamiento de una red celular es sencillo, cada estación debe distinguir la frecuencia de su transmisor sobre la del resto utilizando técnicas de acceso como **FDMA** (Del inglés, Frequency Division Multiple Access), **CDMA** (Del inglés, Code Division Multiple Access) o **TDMA** (Del inglés, Time Division Multiple Access):

- **FDMA** utiliza canales con distintos rangos de frecuencias. Los canales se asignan a los usuarios sin causar interferencias entre sí.

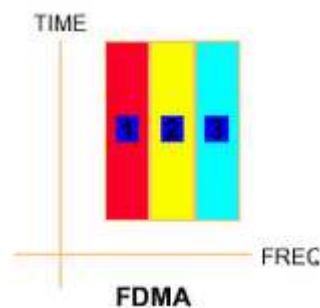


Ilustración 4. Técnicas de Acceso al medio - FDMA

- **TDMA** utiliza los mismos canales para varios usuarios pero a estos se les asigna una parte del tiempo.

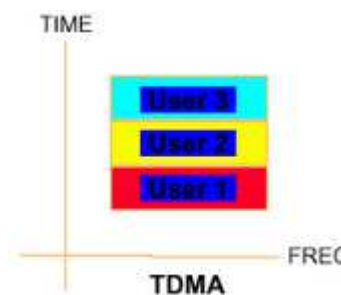


Ilustración 5. Técnicas de Acceso al medio - TDMA

- **CDMA** utiliza los mismos canales y frecuencias para varios usuarios pero se utilizan una serie de códigos para distinguir su comunicación.

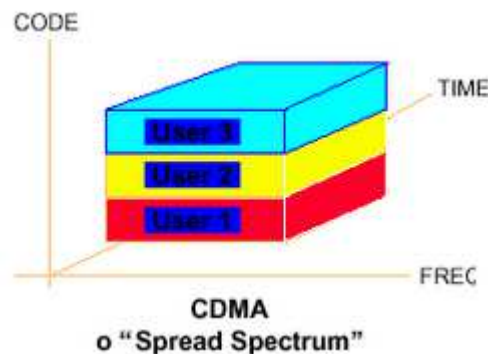


Ilustración 6. Técnicas de Acceso al medio - CDMA

Cuando un usuario quiere realizar una llamada establece una comunicación con una EB. Conforme el usuario se va desplazando por la red, el sistema NSS va asignando la llamada a la estación base que le corresponde de forma transparente para él. Este proceso se denomina **Hand-Over**<sup>3</sup>. En el caso de que el área en el que nos movamos no disponga de cobertura del operador del que somos clientes, se producirá **Roaming**<sup>3</sup> o **Itinerancia**. Este concepto aporta al usuario la ventaja de poder emitir y recibir llamadas a través de su terminal desde distintas partes del mundo sin necesidad de realizar ninguna configuración adicional, salvo activarlo previamente. Actualmente este servicio conlleva un coste para el usuario pero a partir del 15 de diciembre de 2015 las operadoras europeas tendrán que eliminarlo tras ser aprobado por la Parlamento Europeo (6).

Una vez solucionado el problema de la movilidad de usuarios y de optimización del espectro al utilizar distintas técnicas de acceso al medio se plantea una nueva necesidad, la velocidad de transmisión de datos. Por ello surge el **GPRS** (Del inglés, General Packet Radio System) que ofrecerá por primera vez *Conmutación de paquetes* dando un servicio más eficiente para la transmisión y recepción de datos<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Aunque es un Anglicismo, se utilizará este término al ser el más extendido.

<sup>4</sup> Velocidades de transferencia de 56 a 114Kbps.

La comparativa entre GSM y GPRS se resume en el siguiente esquema:

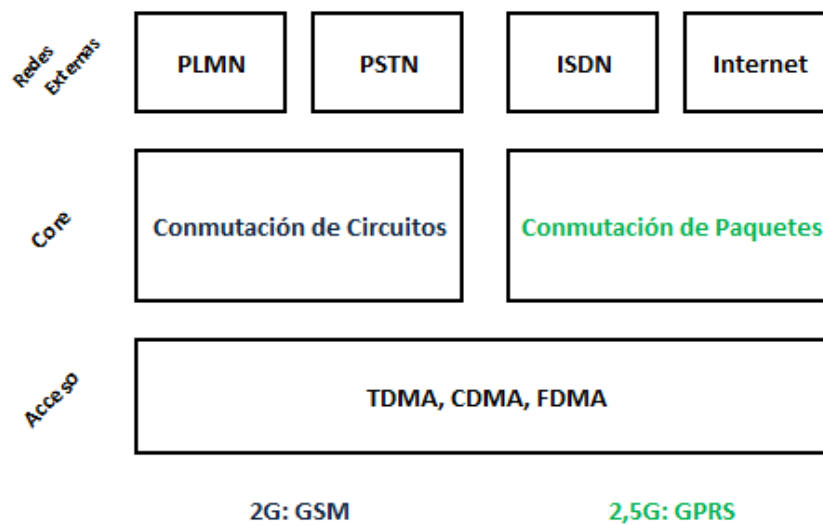


Ilustración 7. GSM & GPRS

## 2.2.4 Tercera Generación – UMTS

En el año 2000, el grupo de trabajo que había colaborado para crear el estándar GSM se reunió para trabajar en el estándar que definiría la tercera generación móvil, UMTS (Del inglés, Universal Mobile Telecommunications System). Este grupo se denominó TSG GERAN (Del inglés, Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network) y su objetivo era dar una solución más eficiente en la repartición espectral que supusiera una inversión menos costosa en sistemas y terminales.

Aunque la llegada del GPRS había supuesto un avance importante en cuanto a la velocidad de transferencia de datos, cada vez había mayor número de usuarios y, en consecuencia, tráfico. En un primer momento, esta demanda se podía absorber ampliando portadoras pero llegaría un momento en el llegaríamos al límite de recursos disponibles del espectro ya que cada portadora utiliza una frecuencia diferente. La solución era clara, evolucionar red (8).

Para poder llegar a una evolución exitosa había que tener en cuenta una serie de factores que, en parte, ya se consideraron en GSM. Uno de los más importantes fue la

**Eficiencia espectral.** El objetivo era conseguir mayor número de usuarios por MHz. Para conseguirlo se utilizaron técnicas como las que se resumen a continuación:

- **Control de Potencia en el enlace descendente** que evitaba que un móvil en lugares de buena cobertura interfiriera en una zona amplia de frecuencia (8).
- **Salto de Frecuencia, SFH** (Del inglés, Slow Frequency Hopping), que variaba la frecuencia de unas ráfagas a otras durante una comunicación evitando utilizar una frecuencia que estuviera interferida durante toda la conexión.
- **Estructuras jerárquicas de frecuencias**, donde se agrupaban las frecuencias en función del área de cobertura.
- **Códigos Adaptativos, AMR** (Del inglés, Adaptive Multirate Codec) que modificaban la velocidad a la que viajaban los bits en función de las condiciones del canal.

Por otro lado, no se podía perder el objetivo de mejorar los servicios. Aunque ya mejoraron significativamente con GPRS gracias a la Conmutación de Paquetes<sup>5</sup> debían seguir evolucionando a servicios más avanzados que demandarían un mayor ancho de banda. Por ejemplo, en un sistema UMTS se llegarán a tener valores de pico de hasta 2Mbps frente a la capacidad de portadora de GSM que puede llegar a alcanzar 115.2Kbps (8).

La arquitectura se definió para dar más capacidad, más servicios y aportar una estructura modular que estuviera abierta a la introducción de nuevas aplicaciones:

---

<sup>5</sup> Véase el Anexo 9.3 Conmutación de Circuitos vs Conmutación de Paquetes



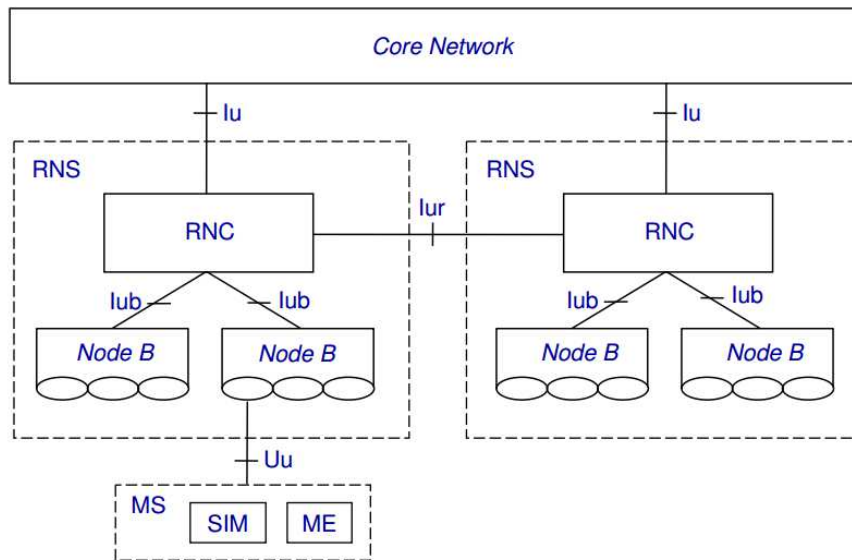


Ilustración 8. Arquitectura Red UMTS (9)

La red UMTS se estructura en tres bloques:

- **Núcleo de Red** (En inglés, Core Network), se encarga de encaminar las llamadas de la red móvil con otras redes o con la propia red móvil. Mantiene las BBDD de la red tanto para localizar a otros usuarios como para determinar el servicio contratado por cada usuario. Mantiene localizados a los equipos de usuario para enviarles información. En UMTS<sup>6</sup>, hay diferenciados dos núcleos de red: **CS** (Del inglés, Circuit Switched) y **PS** (Del Inglés, Packet Switched).

<sup>6</sup> En la primera versión de UMTS, R99, convivían exclusivamente la conmutación de circuitos y paquetes. En los siguientes estándares se incorporaron nuevos actores.

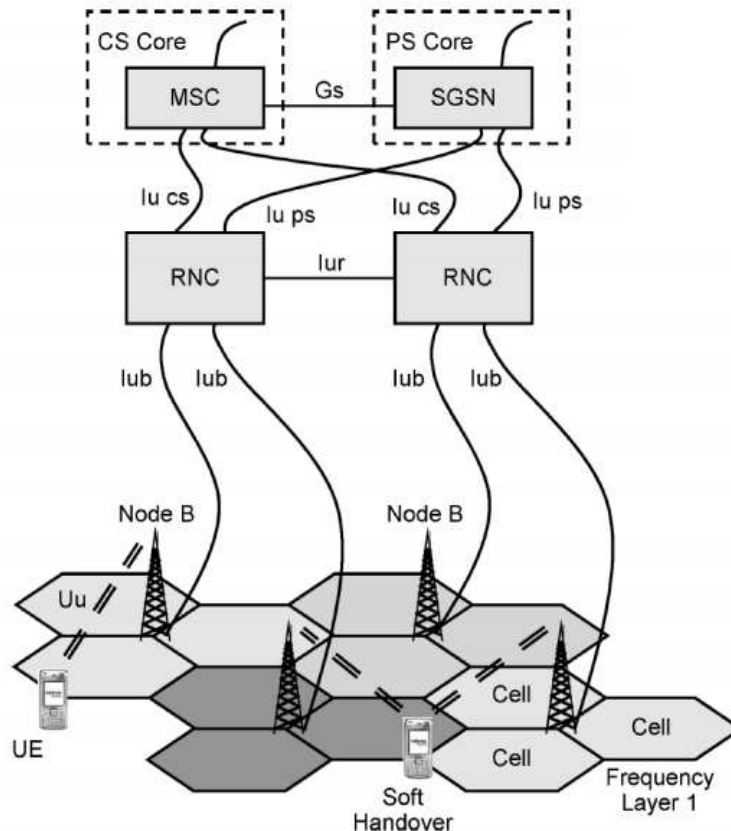


Ilustración 9. Núcleo de Red en UMTS (9)

La diferencia fundamental reside en las redes que interconectan. Así **el Núcleo de Red CS** está formado por la MSC que conmuta con PLMN o con la red GSM y el **Núcleo de Red PS**, formado por la SGSN y el GGSN que interconectan con la red GPRS, UMTS, la red de datos o Internet.

- **Red de acceso radio, UTRAN**, (Del inglés, UMTS Terrestrial Radio Access Network) que proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. Se compone por los RNS (Del inglés, Radio Network Subsystem) que, a su vez, están compuestos de una RNC y los nodos Nodos B de un área determinada. La RNC (Del inglés, Radio Network Controller) es la encargada del control de recursos de los nodos y los Nodos B son los elementos de red que corresponden con las estaciones base que ya vimos en GSM.

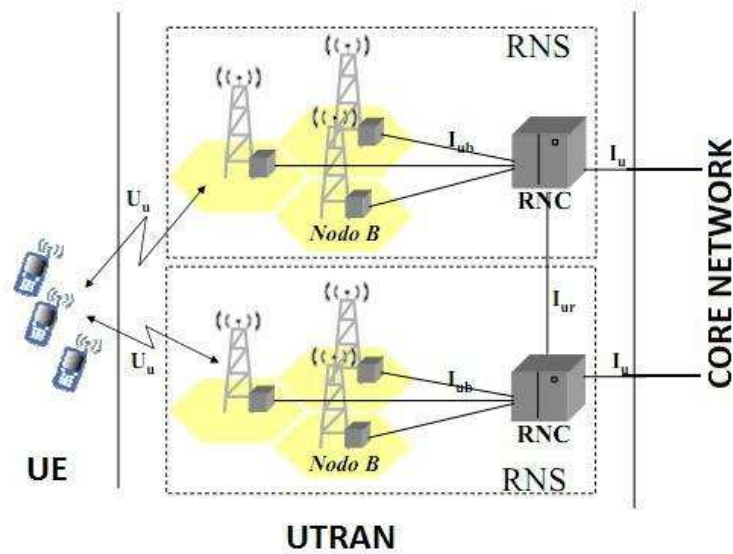


Ilustración 10. Red de Acceso Radio UMTS (10)

- **Equipo de Usuario, UE**, es el encargado de conectar al usuario con la red móvil a través del Nodo B. Está formado por el terminal móvil y la tarjeta de usuario, USIM (Del inglés, Universal Integrated Circuit Card)

Además se incorporan nuevos interfaces que interconectan cada bloque:

- **Interfaz Uu**, entre el equipo de usuario y la red de acceso, UTRAN.
- **Interfaz Iu**, entre el núcleo de red y la red de acceso. Varía en función de la conmutación sobre la que se base de red, siendo posible **Iu-CS**, en una red de conmutación de circuitos o **Iu-PS**, en una red de conmutación de paquetes.

Una vez presentado el primer estándar UMTS, se siguió trabajando en la evolución de la especificación. La evolución de las mejoras desarrolladas desde la implantación del estándar UMTS hasta la llegada del UMTS se resumen en la siguiente tabla:

Especificación	Mejoras
Release 99	Especificación Básica
Release 4	Tráfico en Conmutación de Paquetes
Release 5	HSDPA. Se desarrolla IMS (Subsistema IP Multimedia)
Release 6	Mejoras en HSDPA. Se desarrolla HSUPA.
Release 7	Evolución d HSPA (HSPA+)
Release 8	LTE
Release 9	LTE-Advanced
Release 10	

**Tabla 1. Evolución Estándar UMTS**

El detalle de la evolución de la Red de Acceso y el Núcleo de Red se puede consultar en el Anexo 7.1.

La red UMTS proporcionó a la usuarios una red en la que el uso de tráfico de datos y las aplicaciones multimedia siguieran jugando un papel protagonista. Siempre dando la mejor calidad adaptando la red con nuevas infraestructuras y tecnologías de acceso al medio y multiplexación.

### 2.2.5 Cuarta Generación - LTE

La evolución del estándar UMTS ofreció a los usuarios velocidades de acceso a la red de hasta 11Mbps en *uplink*<sup>7</sup> y 42Mbps en *downlink*<sup>8</sup>. Pero la demanda de aplicaciones multimedia por parte de los usuarios hacía necesario que la red evolucionará siendo capaz de dar mayores velocidades manteniendo la capacidad de servicio y garantizando siempre la seguridad de las comunicaciones.

**LTE** (Del inglés, Long Term Evolution) es el primer paso hacia la cuarta generación móvil, **LTE-Advanced**. Aporta dos novedades sobre los estándares anteriores, desaparecen los conceptos conmutación de circuitos y paquetes y todos los servicios se darán sobre IP y se amplían las velocidades acceso y descarga de datos. Esta evolución incentiva, aún más, la base de la telefonía móvil que venimos describiendo los últimos capítulos, la movilidad. Pero ya no desde el punto de vista de voz sino que con LTE todos los usuarios tendrán total movilidad multimedia.

LTE requiere una alta capacidad de red. Para ello, además del despliegue físico de infraestructuras de banda ancha, se deberán emplear técnicas de acceso al medio eficientes y resolutivas. Todo esto se debe desarrollar garantizando siempre compatibilidad entre las diferentes redes de telefonía que coexiten en la actualidad.

El estándar LTE, ó 3.9G, se desarrolló por 3GPPP a partir de 2005 dando lugar a nuevas funcionalidades en el núcleo de red, **EPC** (Del inglés, Evolved Packet Core) y cambios en la red de acceso, **eUTRAN** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Todo ello formaría parte de la Release 8, continuando así con la evolución de UMTS. En la siguiente ilustración se muestra el esquema de la nueva release:

---

<sup>7</sup>

<sup>8</sup> Aunque son Anglicismos, se utilizarán al ser los más extendidos.

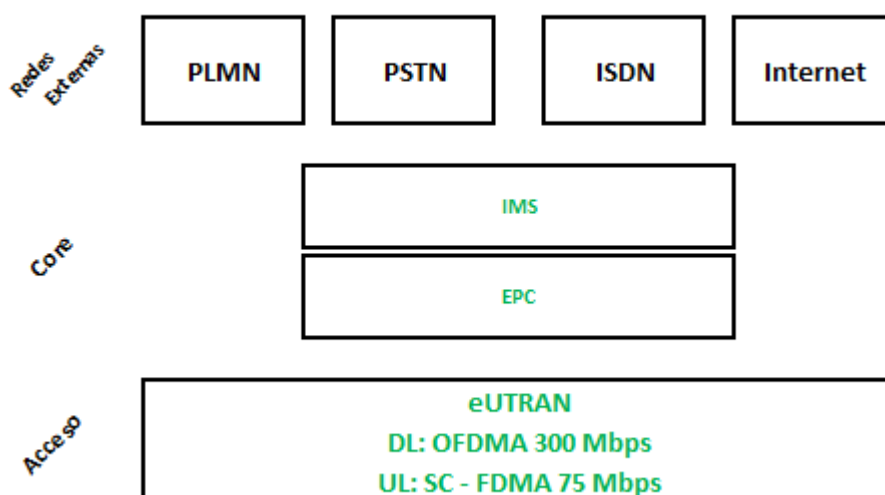


Ilustración 11. Release 8. LTE

La arquitectura de la red LTE difiere respecto a la de los estándares anteriores. Desaparece la RNC pasando todas las funciones de control al **eNodeB** (Del inglés, Envolved Node B) consiguiendo así una red con menor latencia. En la siguiente figura se muestra la comparativa con el nuevo estándar:

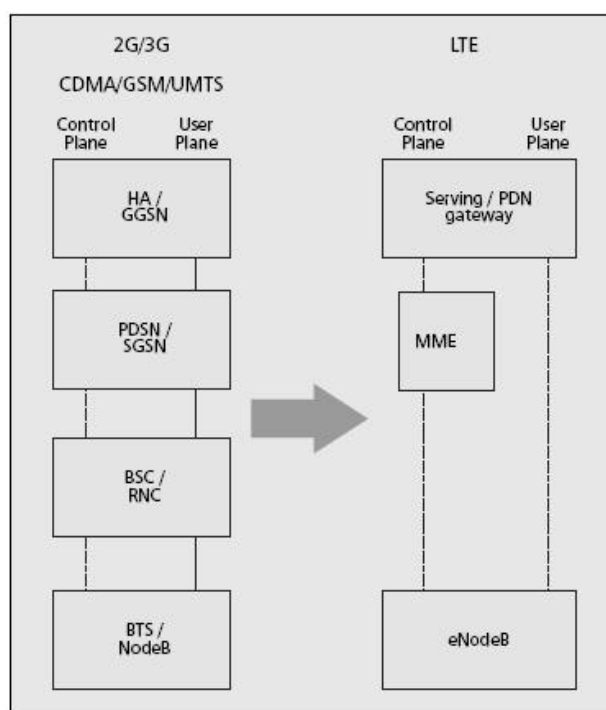


Ilustración 12. Comparativa 2G/3G con LTE (11)

En el plano de usuario sólo tendremos dos tipos de estaciones, los eNode B y los Gateways mientras que en los anteriores sistemas teníamos, al menos, dos más.

Tal y como indicamos al inicio del capítulo, la red LTE se ha definido para soportar la utilización masiva de cualquier servicio en IP. Su arquitectura parte de la misma base que la del resto de redes pero intentando reducir la latencia y los costes de despliegue. En la siguiente imagen se muestra la arquitectura básica de la red:

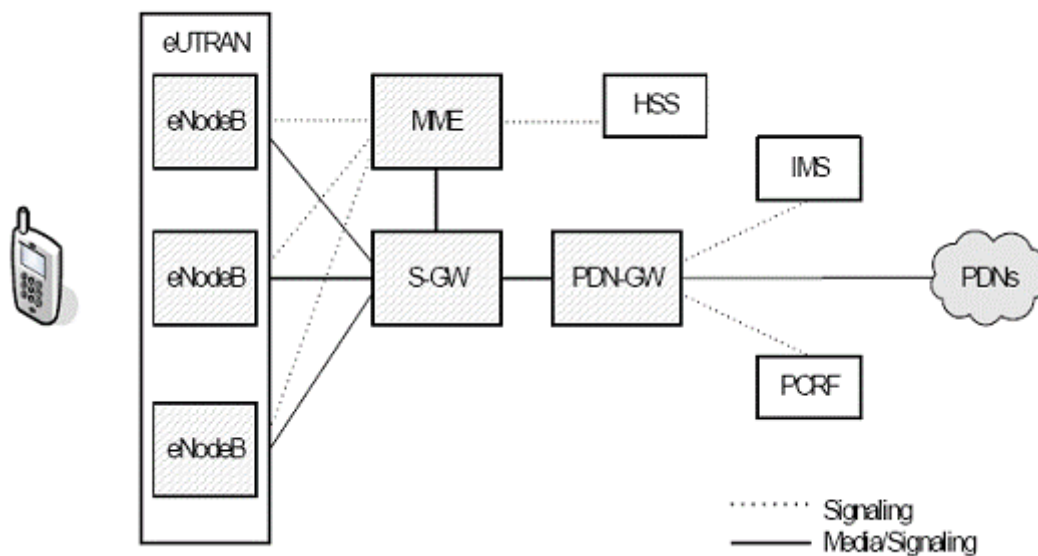


Ilustración 13. Arquitectura Red LTE

Los elementos que la componen conllevan más funcionalidades que se explican a continuación:

- **UE** (Del inglés, User Equipment), es el dispositivo de usuario. Formado por el terminal y la tarjeta inteligente que lo gestiona, **USIM**.
- **eNodeB**, es el único nodo la red de acceso, **eUTRAN**. Es el responsable de todas las funciones de control, admisión y gestión de los recursos radio. Al no tener RNC en el plano de acceso tendremos menos saltos en la transmisión y menos tiempos de procesamiento en otros equipos, lo que hará que tengamos menor latencia.

- **MME** (Del inglés, Mobility Management Entity), es el equipo encargado de la señalización. Gestiona la movilidad, la autenticación, la seguridad en las negociaciones y señalización de los usuarios.
- **S-GW** (Del inglés, Serving Gateways), gestiona la conmutación y la canalización del plano de usuario. Asigna sus recursos en función de la demanda de la red por parte del MME, el PDN-GW y el PCRF que actúan según la demanda del UE de establecer, modificar o liberar portadoras.
- **PDN-GW** (Del inglés, Packet Data Network Gateway), se encarga de entregar el tráfico. Asigna la IP al UE para que pueda conectarse con redes externas (Internet).
- **PCRF** (Del inglés, Policy and Charging Resource Function), se encarga de la política y el control de cargos. Es el encargado de manejar los servicios para dar una optima QoS y proporciona información al PDN-GW y al S-GW para establecer el número de portadoras adecuadas.
- **HSS** (Del inglés, Home Subscription Server), es la base de datos con la información de todos los usuarios, donde se encuentran a nivel de MME, qué servicios se les aplica y en qué conexiones tienen permisos o no.

A lo largo de los últimos apartados se ha descrito la evolución de los estándares de telefonía móvil y las mejoras aportadas por cada uno de ellos. El siguiente cuadro muestra un resumen de todo lo aportado dejando una visión clara de los aspectos evolucionados hasta llegar a LTE.



	1G	2G	2,5G	3G	4G
<b>Comienzo/Fin</b>	1970/1984	1980/1991	1985/1999	1990/2002	2000/2006
<b>Ancho de Banda Datos</b>	1,9 Kbps	14,4 Kbps	56 - 114 Kbps	2 Mbps	200 Mbps
<b>Estándar</b>	AMPS	TDMA, CSMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	Red de acceso única
<b>Tecnología</b>	Celular Analógica	Celular Digital	Celular Digital	CDMA, IP	IP, LAN, WAN, WLAN
<b>Servicios</b>	Voz	Voz, SMS	Mayor capacidad servicio de datos	Video, audio y datos de alta capacidad	Servicio de datos de alta capacidad.
<b>Multiplexación</b>	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
<b>Conmutación</b>	Circuitos	Circuitos	Circuitos en Acceso Paquetes en Red Core	Circuitos en Acceso Paquetes en Red Core	Paquetes
<b>Red Core</b>	PSTN	PSTN	PSTN y Red Paquetes	Red Paquetes	Internet

Tabla 2. Comparativa Estándares Telefonía Móvil

## 2.3 Evolución Arquitectura Red de Acceso

En el apartado anterior se describió la evolución de los diferentes estándares a alto nivel. Este apartado nos orientará sobre cómo se han debido modificar las redes de acceso para dar soporte a todos los cambios que se han ido sucediendo en los últimos años, desde la implantación del estándar GSM hasta la llegada de LTE.

### 2.3.1 Redes Móviles Plesiócronicas

Las primeras redes de telefonía móvil basaban su transmisión en la jerarquía digital plesiócrona, **PDH** (Del inglés, Plesiochronous Digital Hierarchy). Esta tecnología se basaba en enviar varios canales de comunicación sobre un mismo medio utilizando TDM. El medio sobre el que se enviaba la información podría ser vía radio, radioenlaces, o por fibra, en este caso se utilizaría **SDH** (Del inglés, Synchronous Digital Hierarchy).

La jerarquía PDH se basa en canales de 64kbps agrupados en grupos de 32 canales (30 + 2 para gestión y control) sobre una unidad básica denominada E1, que puede llegar a jerarquías superiores multiplexando por cuatro sucesivamente (12).

Jerarquía	Velocidad (kbps)	Velocidad (Mbps)	Canales
E1	2048	2	30
E2	8448	8	120
E3	34368	34	480
E4	139264	136	1920
E5	564992	552	7680

Tabla 3. Jerarquía E1

La jerarquía SDH se basa en estructuras STM-1 que tienen una velocidad de 155Mbps. Al igual que PDH puede llegar a jerarquías superiores multiplicando por cuatro sucesivamente:

Jerarquía	Velocidad	Canales
STM-1	155 Mbps	30
STM-4	622 Mbps	120
STM-16	2,5 Gbps	480
STM-32	10 Gbps	1920
STM-256	40 Gbps	7680

Tabla 4. Jerarquía STM-1

PDH se puede adaptar fácilmente a SDH ya que cada STM-1 está formado por 63 canales de 2Mbps. El proceso de encapsulamiento de un E1 en una trama STM-1 se denomina Multiplexación SDH.

Hasta la llegada de LTE, las redes móviles se basaban en E1s. Con la llegada de LTE todas las redes debían evolucionar a Ethernet para soportar IP.

### 2.3.2 Redes Móviles Ethernet

Las redes móviles basadas en Ethernet llegaron para dar una solución de transmisión más eficiente a menor coste. Ampliar la capacidad de un nodo con transmisión en E1s suponía mayor inversión que ampliar el caudal de un nodo Ethernet. Ampliar un E1 suponía, en la mayoría de los casos, cablear cada paso del enrutamiento hasta llegar a la BSC o la RNC correspondiente, mientras que ampliar un caudal en Ethernet se podía hacer en remoto a través de una carga de licencias.

El estándar Ethernet fue desarrollado en el estándar el IEEE 802.3 siendo su trama básica definida en el siguiente esquema:

Preambulo	Delimitador de inicio de trama	MAC de destino	MAC de origen	802.1Q Etiqueta(opcional)	Ethertype (Ethernet II) o longitud (IEEE 802.3)	Payload	Secuencia de comprobación (32-bit CRC)	Gap entre frames
7 Bytes	1 Byte	6 Byte	6 Bytes	(4 Bytes)	2 Bytes	De 46 (o 42) hasta 1500 Bytes	4 Bytes	12 Bytes
64–1522 Bytes								
72–1530 Bytes								
84–1542 Bytes								

Ilustración 14. Trama Básica Ethernet (14)

Los campos que forman la trama se resumen en:

- **Preámbulo**, marca el inicio de la trama para que el equipo receptor se sincronice.
- **Delimitador de inicio de trama**, indique que a partir de él empieza la trama.
- **MAC de destino/de origen**, indica la dirección del dispositivo hacia el que van dirigidos los datos y el dispositivo que los manda.
- **Etiqueta**, es un campo opcional cuya función es indicar si pertenece a una VLAN o si tiene una prioridad determinada.
- **Ethernetype**, indica el protocolo en el que están encapsulados los datos del Payload.
- **Payload**, contiene todos los datos. Su capacidad va desde 46 Bytes hasta 1500 Bytes.
- **Secuencia de comprobación**, contiene el CRC (Control de redundancia cíclica) que es un valor de verificación para determinar si la trama es válida.
- **GAP**, es el campo que se utiliza para rellenar la trama en caso de que haya huecos.

Toda la transmisión en redes LTE se desarrollaran bajo esta trama.



## Capítulo 3

# Introducción a Proyectos de Red

### 3.1 Objetivo del capítulo

El objeto del siguiente capítulo es explicar el procedimiento de planificación de red móvil dentro de un proyecto desde la elaboración de un presupuesto hasta la integración y puesta en servicio de cada estación. Es un capítulo corto pero necesario para la comprensión de los capítulos posteriores.

### 3.2 Evolución de un Proyecto

En líneas generales un proyecto se puede dividir en tres fases. La **Fase de Planificación**, donde se desarrollan las bases del proyecto, la documentación técnica, los escenarios de acción y el presupuesto inicial (Business Case), la **Fase de Ejecución**, donde se realizan todas las tareas relacionadas con el diseño y puesta en servicio del proyecto y la **Fase de Entrega**, donde se evalúa todo el trajo realizado asegurando los KPIs marcados al inicio del proyecto así como la entrega de un *Post-Mortem*<sup>9</sup> donde se hace una comparativa de la planificación inicial del proyecto y cómo se ha desarrollado finalmente.

Dentro de las tres grandes Fases se engloban funciones muy importantes que se podrían considerar como fases adicionales, así son la **Fase de Iniciación**, una de las más delicadas y que más trabajo y voluntad requiere ya que en ella se definen las bases sobre las que se desarrollará el Proyecto y la **Fase de Control**, que engloba el seguimiento de los trabajos realizados aplicando planes correctivos y de contingencia ante los problemas surgidos en el día a día.

---

<sup>9</sup> Aunque es un Anglismo se utilizará al ser el más extendido.

En la siguiente gráfica se muestra el desarrollo en el tiempo de cada fase descrita:



Ilustración 15. Fases de un Proyecto

En el ámbito de las Telecomunicaciones, cuando un operador quiere realizar un proyecto de despliegue suele subcontractar los trabajos a una segunda empresa. Lanza los servicios a concurso a través de una **RFQ** (Del inglés, Request for Quotation) a la que se presentarán las empresas que cumplan una serie de requerimientos previos. Por ejemplo, si Orange quiere desplegar LTE en España sacará a concurso una RFQ a la que se presentarán todos los suministradores de equipos de red, Ericsson España, Huawei, Alcatel Lucent, etc. En función de lo que los suministradores oferten, Orange tomará una decisión. En la actualidad no se considera la opción de dar el control de la red a un único suministrador, la solución más extendida es dar a dos suministradores la red dividida por regiones.

En el caso de que el Proyecto se desarrolle sobre un ámbito de subcontratación la Fase de Planificación constará de los siguientes pasos:

- Lanzamiento RFQ
- Elaboración de ofertas
- Adjudicación del contrato
- Planificación del Proyecto

En este caso y, basándonos en los proyectos de despliegue que hoy en día se desarrollan en el marco de la Telecomunicaciones, el proyecto de Despliegue LTE se desarrollará con subcontratación.





# Capítulo 4

## Fase de Planificación

### 4.1 Bases del Proyecto

Lo primero que se debe tener en cuenta a la hora de comenzar un proyecto son los objetivos a realizar y los medios a través de los cuales vamos a llegar a ellos. Un proyecto pasará por muchas etapas y la labor del Jefe de Proyecto siempre será la de dirigir a todos los actores involucrados para llegar al objetivo marcado.

En el caso que nos ocupa, un despliegue LTE, los objetivos son claros:

- Despliegue nueva tecnología en red existente.
- Renovación de los equipos de la red para poder cumplir las especificaciones requeridas en el estándar 3.9G.
- No impactar en la calidad de la red para los usuarios de las tecnologías actuales. Si hay algún impacto aplicar soluciones de contingencia rápidas y que sirvan para aprender de los errores cometidos y evitar así casos similares en el futuro.
- Cumplir con los plazos previstos para no perder competitividad con el resto de operadores. En España, el despliegue LTE previsto por los cuatro grandes operadores se resume en el siguiente mapa:



Ilustración 16. Mapa de Cobertura 4G (18)

## 4.2 Grupos involucrados en Proyecto

Para poder conseguir los objetivos marcados, el Jefe de Proyecto contará con la participación de distintos departamentos que aportarán visión transversal de cada área. Los departamentos involucrados en un Despliegue LTE son:

- **Unidad de Negocio:** Su aportación es inicial y se encarga de dar los criterios sobre los que se debe dimensionar la red:
  - Número de clientes estimado
  - Crecimiento de tráfico y voz estimada
- **Ingeniería:** departamento encargado de la documentación y validación de la tecnología a desplegar. Sus funciones principales son:
  - Validación de un HLD y LLD donde se especifiquen todas características técnicas de la solución a desplegar.

- Prueba de los equipos a integrar en la red realizando una **FOA** (Del inglés, First On Air).
- Elaboración de las directrices técnicas que se deben respetar para el despliegue de red.
- **Planificación:** departamento encargado de dimensionar la red teniendo como base los inputs de la Unidad de Negocio e Ingeniería. Abarca las áreas de radio, transmisión y CORE. Sus funciones principales son:
  - Elaboración de un Business Case a largo Plazo del Proyecto evaluando la inversión a realizar.
  - Elaboración de un Plan de Red, en adelante PDR, donde se especifican las necesidades por Municipio del despliegue a realizar.
- **Construcción:** departamento encargado de la construcción de la red en base a los inputs facilitados por el departamento de Planificación. Sus funciones principales son:
  - Realizar los pedidos necesarios para poder ejecutar el PDR elaborado por Planificación.
  - Seguimiento de entregas e instalaciones del equipo.
  - Elaboración de la planificación del proyecto.
- **Site Management**<sup>10</sup>: departamento encargado de la gestión de emplazamientos así como de tramitar las comparticiones con otros operadores. Sus funciones principales son:
  - Búsqueda de nuevas emplazamientos.
  - Gestión de contratos con las propiedades.
  - Gestión de comparticiones con otros operadores.

---

<sup>10</sup> Aunque es un Anglicismo se utilizará este término al ser el más extendido.

- **Implementación y Puesta en Servicio:** departamento encargado de la integración y puesta en servicio de las estaciones. Sus funciones principales son:
  - Monitorización de la red previa a la integración de la nueva tecnología.
  - Integración y puesta en servicio de los nuevos equipos.
  - Monitorización de la red después de la integración.
- **Calidad:** departamento encargado de revisar la calidad de la red. Sus funciones principales son:
  - Asegurar que la KPIs cumplan los criterios establecidos de la red.
  - Revisar el funcionamiento de la estación indicando si se mantiene Activada, *On Air*, o se da Marcha Atrás, de ahora en adelante *Rollback*.

Cada uno de estos grupos tendrá un responsable que reportará directamente al Jefe de Proyecto. La estructura, teniendo cuenta el flujo de trabajos quedaría:

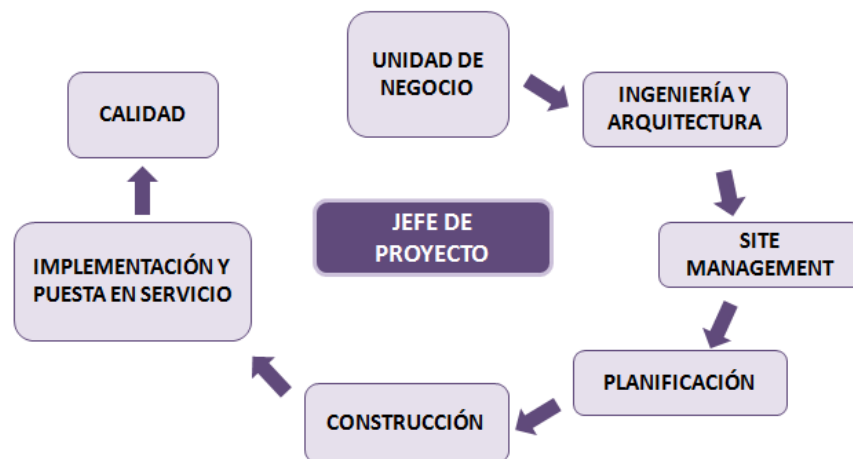


Ilustración 17. Interacción Departamentos Proyecto

El primer grupo involucrado en el proyecto es la **Unidad de Negocio** ellos darán las claves de despliegue, es decir, los municipios sobre los que se debe abordar el despliegue de red y el crecimiento de tráfico estimado para la época del despliegue. Al mismo tiempo, el departamento de **Ingeniería y Arquitectura** elabora una propuesta técnica sobre la se deberán desarrollar todos los diseños del proyecto. Esta solución se probará mediante una FOA asegurando que todos los requisitos de la documentación son factibles. Con los inputs de tráfico fijados por la unidad de negocio y la solución técnica aprobada, los departamentos de **Site Management** y **Planificación** podrán desarrollar sus funciones. El primero iniciará la búsqueda de candidatos de cobertura y el segundo elaborará un Plan de Red, en adelante PDR, con todas las necesidades para que se pueda desplegar LTE en un emplazamiento. Una vez finalizado el PDR, el departamento de **Construcción** lanzará todos los pedidos de equipos y realizará el seguimiento de entregas e instalación. Una vez finalizado, se programará la puesta en servicio de la estación, que se realizará a través del departamento de **Implementación**. Los días siguientes a la puesta en servicio, el departamento de **Calidad** realizará un seguimiento de la evolución de la estación y será quien decida si la estación sigue On Air o se da Rollback. Todos estos procesos estarán coordinados por el Jefe de Proyecto y un Responsable de cada área.

### 4.3 Plan de Tiempos

Una vez definidos los grupos, es necesario que el Jefe de Proyecto organice un Kick-Off<sup>11</sup>, una reunión de inicio de proyecto en la que se reunirán todos los integrantes y se abordarán los puntos claves a desarrollar, ¿qué se va a hacer?, ¿quiénes lo van a desarrollar?, ¿cómo se va a hacer?, ¿cuándo se va a hacer? y ¿dónde se va a hacer?

Esta reunión es muy importante ya que se presentarán aspectos tales como los escenarios del proyecto, las restricciones que se plantearán y el cronograma de hitos antes de la fase de industrialización. Cuando el proyecto ya tiene un procedimiento establecido, el proceso continuará basándose en la planificación semanal de activaciones.

---

<sup>11</sup> Aunque es un Anglicismo se utilizará este término al ser el más extendido.

En el caso que nos ocupa, un despliegue LTE, se deberían presentar dos cronogramas, uno centrado la fase de inicio del proyecto, desde la elaboración de la documentación hasta la realización exitosa de las primeras FOAs y otro centrado en el diagrama de tiempos tras el paso a producción:

- **Cronograma FASE I:** Hasta la ejecución exitosa de las primeras FOAs:

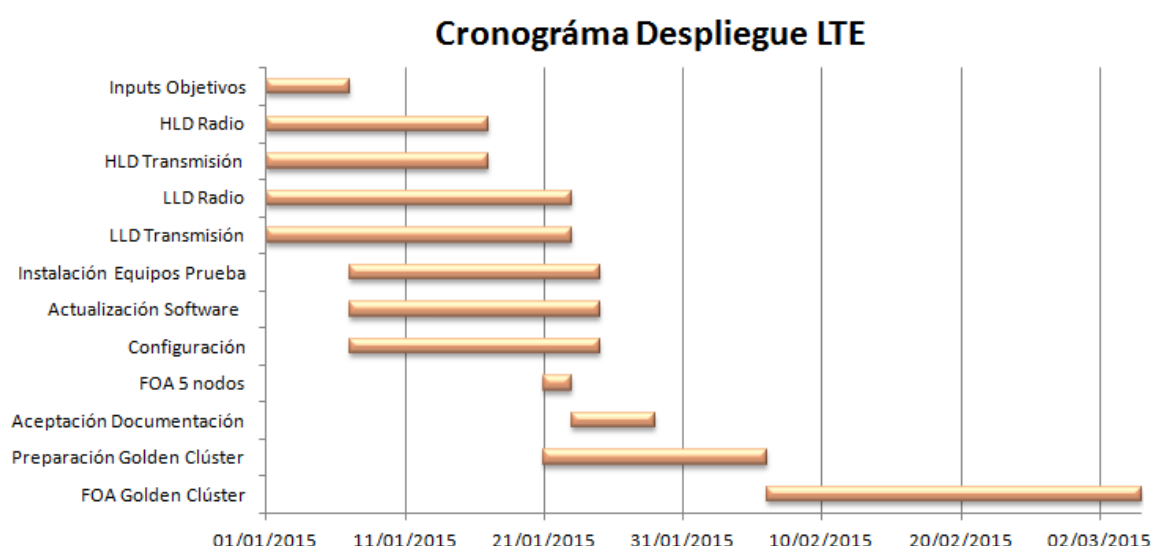
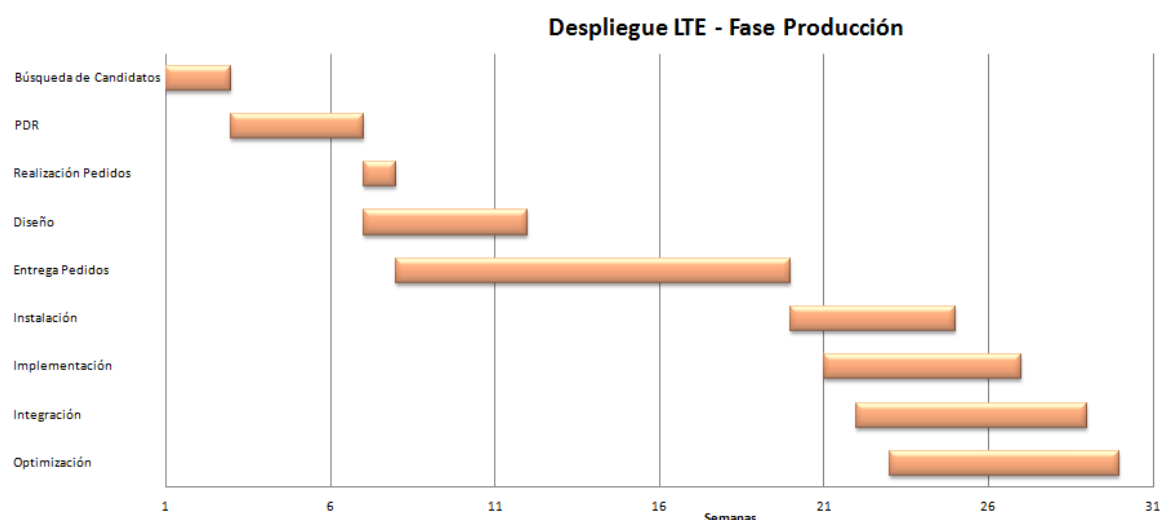


Ilustración 18. Cronograma Fase I Despliegue LTE

Una vez que llegan los primeros inputs con los datos de los objetivos de cobertura y las previsiones de tráfico estimadas el departamento de arquitectura se pondrá a trabajar en el HLD y el LLD. Estos documentos aportarán todas las especificaciones técnicas para que se desarrollen las primeras FOAs.

- **Cronograma FASE II:** Tras la ejecución exitosa de las FOA, tanto de los primeros nodos como del *Golden Clúster*<sup>12</sup>, un clúster que simulará a un clúster real del proyecto, el proyecto pasará a industrialización y el proceso seguirá su curso debiéndose cumplir un periodo de tiempos en cada acción. En esta fase, la labor del Jefe de Proyecto será vital para cumplir los tiempos

<sup>12</sup> Aunque es un anglicismo se utilizara al ser el más extendido.



**Ilustración 19. Cronograma Fase Producción Despliegue LTE**

Una vez que se hayan encontrado los candidatos a desplegar LTE, el departamento de Planificación deberá elaborar el PDR con todas las necesidades de cada municipio donde se vaya a desplegar LTE.

Con el grupo formado y los objetivos del proyecto establecidos, el departamento de arquitectura trabajará en dos documentos, uno que englobará todos los aspectos técnicos del proyecto, el HLD, y otro que tratará los distintos escenarios que nos podremos encontrar ante el despliegue del Proyecto. En los siguientes apartados se explicarán los aspectos más importantes de cada documento.

## 4.4 HLD

### 4.4.1 Introducción

El HLD es un documento que servirá de referencia para todos los departamentos involucrados en el proyecto, tanto a nivel de planificación como a nivel de despliegue de red. El objetivo es que todas las personas que lo lean entiendan el fin del Proyecto.

Debido a la cantidad de información que conllevan estos ficheros, nos centraremos en explicar en detalle las soluciones técnicas que se deberán tener en cuenta en el ámbito de la Planificación de Transmisión hasta el EPC.

Tal y como se indicó en el apartado *Cuarta Generación - LTE*, el **UE** conecta con la red LTE por **eRAN** (Del inglés, evolved Radio Access Network), que está formado por los **eNodeB**, algo que nos suponía un avance importante respecto a los anteriores sistemas de telecomunicaciones.

El eNodeB proporciona el acceso radio a la red LTE y centraliza todas las funciones del plano de usuario como el **RRM** (Del inglés, Radio Resource Management) o la gestión del interfaz radio. Para conectar EUTRAN con EPC tendremos el Interfaz S1, que podrá ser **S1-MME** para el plano del control y **S1-U** para el plano de usuario. Los eNodeB se conectan entre sí a través del interfaz X2, que intercambia señalización que ayudará a la gestión de carga de los nodos y conseguirá que los traspasos entre ellos sean más rápidos.

En la siguiente figura se muestran todos los elementos que forman la red LTE así como los interfaces que interconectan cada uno de ellos:



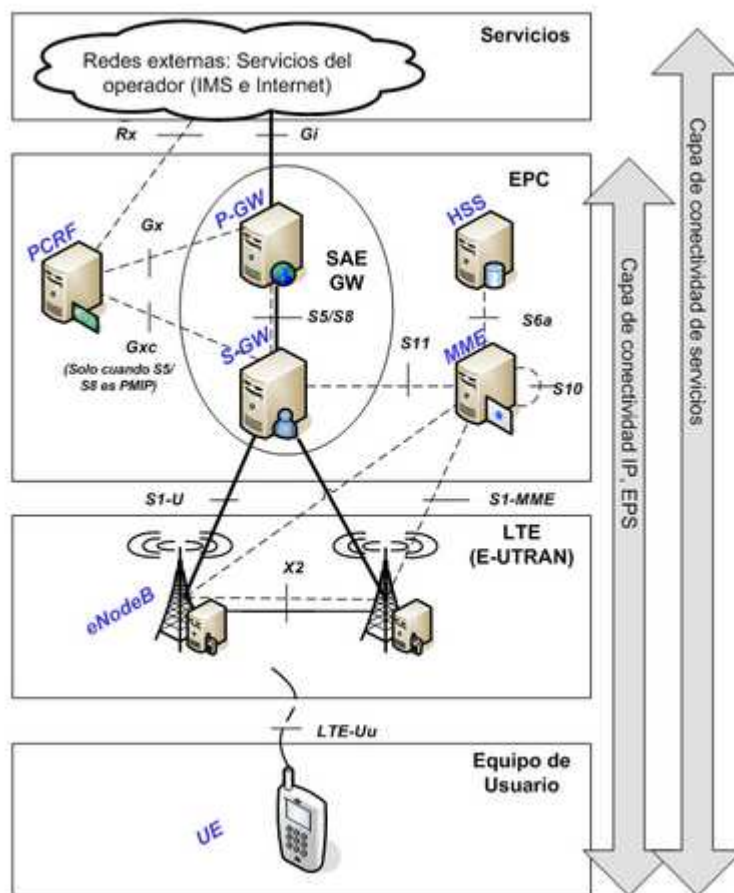


Ilustración 20. Arquitectura LTE (16)

La red LTE es una red de datos por lo que la convivencia con redes 2G y 3G es indispensable para que los usuarios puedan utilizar todas las funcionalidades de la telefonía móvil. Así, cuando un terminal esté conectado a LTE y se quiera realizar una llamada de voz se optará por una de las siguientes soluciones:

- **CS FallBack (Circuit Switch Fallback)**, cuando el usuario quiera realizar una llamada el terminal suspenderá la conexión de datos con LTE y establecerá una conexión de voz a través de la red con mayor potencia en ese momento.
- **IMS basado en Voz sobre IP (VoIP)**, el **IMS** (subsistema IP Multimedia) en LTE soporta VoIP. Si la llamada de voz se establece en la red LTE esta se seguirá desarrollando a excepción de que lleguemos a un punto sin cobertura, en ese caso la llamada se entregará a CS FallBack y continuará su llamada en la red que tenga mayor potencia en ese momento.

En el siguiente esquema se muestra la coexistencia de las redes actuales:

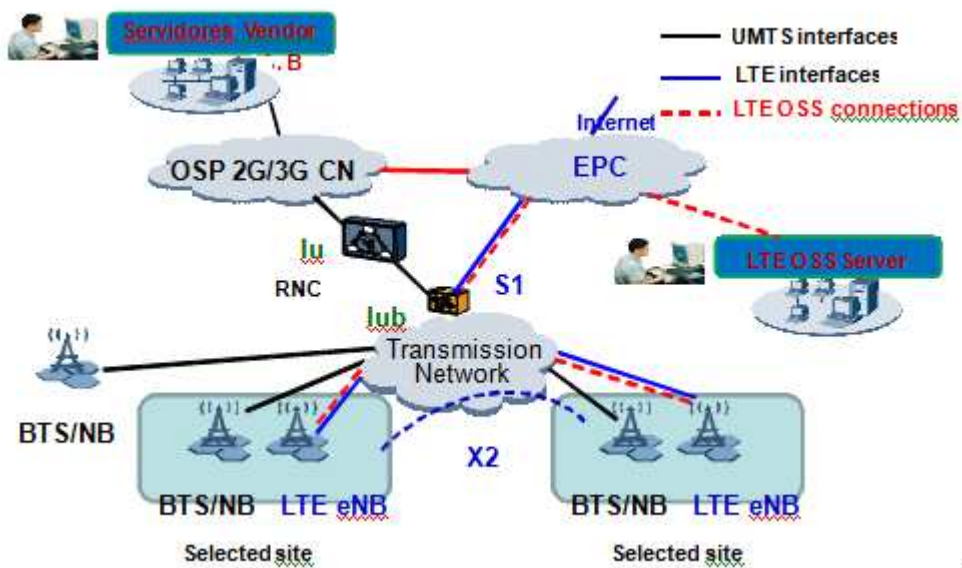


Ilustración 21. Arquitectura LTE+UMTS

#### 4.4.2 Soluciones de Transmisión Red LTE

Toda la transmisión asociada a nodos desplegados en una red LTE debe ser en Ethernet. Las soluciones de transmisión que se podrán tener son:

- **PMW** (Del inglés, Packet Microwave), es la evolución de equipos microondas. Ofrecen mayor calidad en el enlace pudiendo modificar el ancho de banda en función de las condiciones del medio (interferencias, lluvia, etc.).
- **FTTN** (Del inglés, Fiber to the Node), que conectará al nodo directamente con una fibra desplegada en su misma ubicación. Esta solución ofrece la posibilidad de dar una fibra dedicada a cada usuario eliminando posibles cuellos de botella en el acceso al medio. El inconveniente será el desembolso inicial de desplegar fibra. Esta solución se adoptará cuando el despliegue de fibra sea más económico que el despliegue de PMW.

- **Alquiler de Red de otros Operadores**, en adelante ETH LL. Esta solución se adoptará cuando no sea posible dar transmisión con medios propios, PMW o FO. El proveedor de la red entregará una ETH LL con una capacidad mínima de 100Mbps que podrá llegar hasta 1Gbps.

#### 4.4.3 Arquitectura Actual Red Operador

En la actualidad, la red sobre la que vamos a desplegar LTE ha sido renovada y dispone de equipos capaces de absorber tráfico con capacidades por encima de los 100Mbps.

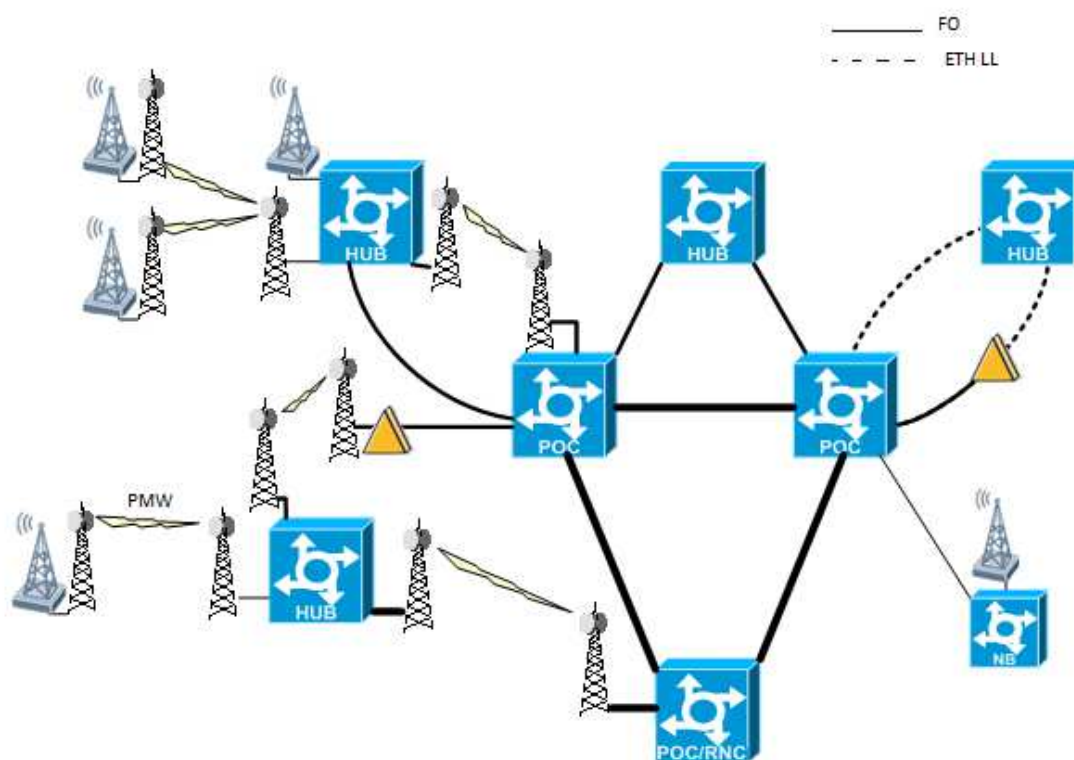


Ilustración 22. Arquitectura de Red

Los equipos desplegados en la red son:

- **BTS (2G), Nodos B (UMTS) y eNodeB (LTE).**
- **HUB**, emplazamientos que conectan el tráfico de nodos FTTN en su área de acción. Se conectan al POC o al POP con dos rutas redundantes. Los equipos de concentración que se utilizan se denominan PTNs<sup>13</sup>.
- **POC**, es un punto de concentración de red. Lleva el tráfico de varias estaciones o de varios HUBs. Los equipos de concentración que se utilizan se denominan PTNs.
- **POP**, es un punto en los que existe una BSC/RNC para GSM y UMTS o BBIP (Del inglés, Backbone IP) para LTE. Dispondrá siempre de una ruta de FO hacia el Core Backbone. Los equipos de concentración que se utilizan se denominan PTNs.

Para provisionar la red vamos a distinguir dos capas:

- **Capa Acceso**, en adelante FM (Del inglés, First Mile). Lleva la transmisión exclusiva del eNodeB hasta el punto de agregación.
- **Capa Agregación**, en adelante MM (Del inglés, Middle Mile). Lleva la transmisión agregada de todos los nodos de un área hasta un destino. El punto en el que se agregan todos los nodos se denominará POC y el punto en el que confluirán se denominará POP. Cuando la solución de transmisión sea por FTTN hay un paso intermedio antes del POC en el que todos los nodos pasarán por un HUB.

---

<sup>13</sup> Véase el Anexo Equipos PTN donde se explican las distintas modalidades de los PTNs

#### **4.4.4 Conexiones Capa de Acceso**

La capa de acceso abarca toda la transmisión desde el eNodeB hasta el POC. En función de la tecnología desplegada se deberán cumplir una serie de requisitos:

- Se debe instalar un PTN 910 en los emplazamientos de los eNodeB y un PTN 1900 en los HUB/POC.
- El PTN 910 podrá agregar hasta tres eNodeB.
- Si es FTTN, la conexión se debe realizar a través de FO con doble ruta redundada.
- El tráfico deberá llegar a un HUB que agregue los nodos FTTN y los envíe al POC correspondiente.
- La conexión entre el HUB y el POC debe ser con FO con doble ruta redundada.
- Si es por PMW, la topología debe ser en anillo con doble ruta redundada. La configuración de los PMW deberá ser siempre con protección 1+1 a excepción de los puntos final de cadena que podrán ser 1+0.
- La transmisión siempre se debe realizar en Ethernet siendo la menor capacidad provista de la red 100Mbps.

#### **4.4.5 Conexiones Capa de Agregación**

Debido a la importancia de esta capa, lleva el tráfico agregado de todos los nodos de un área, todos los equipos se deben conectar cumpliendo los siguientes criterios:

- Se instalarán dos PTN 1900 en cada sede POC. Se configurarán de manera que uno sea la protección del otro.
- La conexión entre el POC y el POP ha de ser por FO redundada o por PMW. Ya sea por medios propios o por líneas alquiladas en Ethernet a otros suministradores.

- El número máximo de emplazamientos a conectar debe ser inferior a los indicados en la siguiente tabla:

RUTA 1	RUTA 2	HUB	POC
		Nº max empl	Nº max empl
FO	FO	50	500
FO o LL ETH	PMW o LL ETH	50	100
PMW	PMW o LL ETH + PMW	15	50

Tabla 5. Criterio Dimensionamiento HUB & POC

- Se deberá dimensionar la red teniendo en cuenta el factor de agregación que reduce el tráfico de la red en un 80%.
- Se deberán tener en cuenta los Factores de Crecimiento de la Red<sup>14</sup> de manera que los enlaces queden dimensionados para albergar todo el tráfico de los siguientes seis meses del año.
- La capacidad mínima de cada una de las rutas ha de ser de 100Mbps.

#### 4.4.6 Conexiones en el POP

La sede del POP es de vital importancia al ser la de mayor rango jerárquico. Es imprescindible definir bien el tipo de conexiones que se realizarán con la BSC y la RNC y el BBIP. Los criterios que se deben tener en cuenta son:

- Se instalarán dos PTN 3900 en cada sede POP. Se configurarán de manera que uno sea la protección del otro.
- Se deben establecer dos tipos de conexiones entre los PTNs:
  - Conexión a nivel Capa 3 que enrute el tráfico por el PTN que corresponda. Esta conexión se denomina IntraTunnel.
  - Conexión a nivel Capa 2 que encamine el tráfico en caso de caída de un PTN. Esta conexión se denomina LAG y siempre deben existir en bloques de dos.

<sup>14</sup> Véase el Anexo Calcular Factores de Crecimiento

- La capacidad mínima de estas conexiones es 1GEth.
- La conexión con la BSC/RNC/BBIP deberá tener una capacidad mínima de 1GEth y no irá redundada. Habrá dos conexiones pero se configurarán en Balanceo de Carga<sup>15</sup>.

## 4.5 LDD

El LLD es un documento que detallará todos los aspectos técnicos necesarios para la implantación de la nueva tecnología. En él se considerarán todos los escenarios técnicos posibles y se establecerán todas las pautas para que el trabajo se desarrolle cumpliendo el objetivo de calidad marcado por la red (15).

Al igual que en el HLD, se diferenciarán dos partes, acceso y agregación.

### 4.5.1 Escenarios Acceso

En acceso siempre encontraremos tres escenarios, dos en los que utilizarán medios propios y uno en el que utilizará red alquilada. Para el diseño de cada escenario se deberán cumplir una serie de condiciones. En los siguientes apartados se detalla las consideraciones de diseño más importantes.

- **FTTN**
  - Todos los nodos donde exista posibilidad de instalar fibra óptica adoptarán esta solución.
  - Se podrá compartir la ruta de fibra de hasta un máximo de tres nodos.
  - Los equipos se deben conectar con protección de ruta ya sea conectándose al mismo HUB pero en equipos diferentes o a otro HUB distinto:

---

<sup>15</sup> Los dos enlaces tendrán el mismo porcentaje de ocupación.

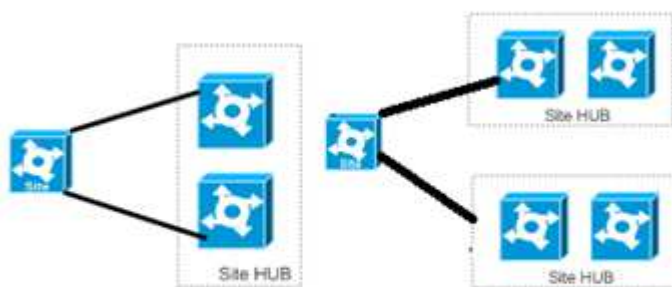


Ilustración 23. Protección FTTN

- Se permite agregación de tráfico en el emplazamiento inicial de tráfico que provenga de PMW o líneas alquiladas. El tráfico se agregará a través del PTN existente en el emplazamiento.

- **PMW**

- Los diseños en PMW deberán instalarse en cadena o en anillo.

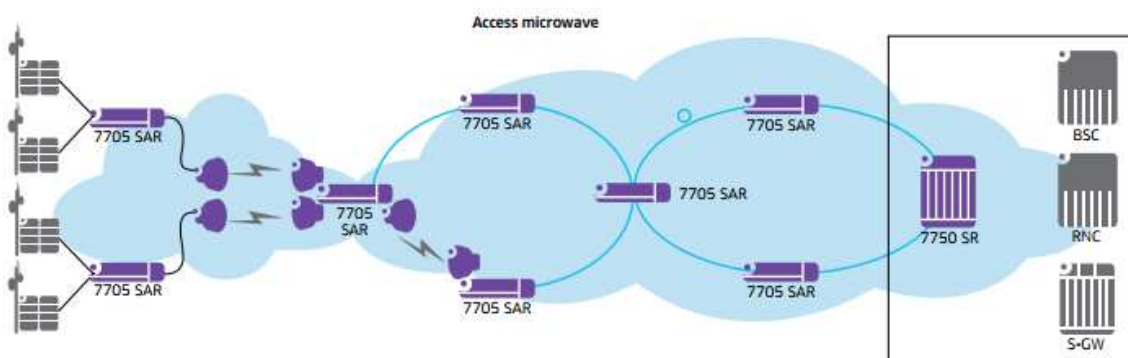


Ilustración 24. Topologías PMW Acceso (17)

- Todos los PMW deberán conectarse al PTN co-ubicado con doble interfaz de protección<sup>16</sup>.
- En los diseños en cadena, todos los PMW llevarán protección 1+1 a excepción del último que se configurará en 1+0 (Configuración FDC).

<sup>16</sup> Véase el Anexo Equipos PMW donde se explican los distintos Equipos PMW.



- En zonas urbanas, las cadenas tendrán un máximo de 3 saltos mientras que en zonas rurales se podrán diseñar 4 saltos.
- La capacidad de los enlaces dependerá de las estaciones que cuelguen de estos. Se calculará la capacidad necesaria por emplazamiento más la capacidad necesaria del emplazamiento anterior de la cadena.
- En los diseños con anillos, sólo se permitirán nueve enlaces aunque pueden llevar el tráfico de hasta quince estaciones. Éstas llegarían a los puntos del anillo por enlaces directos de PMW, estos enlaces se denominan *spúreos*. Nunca se podrán tener más de quince saltos por la ruta más larga de transmisión.

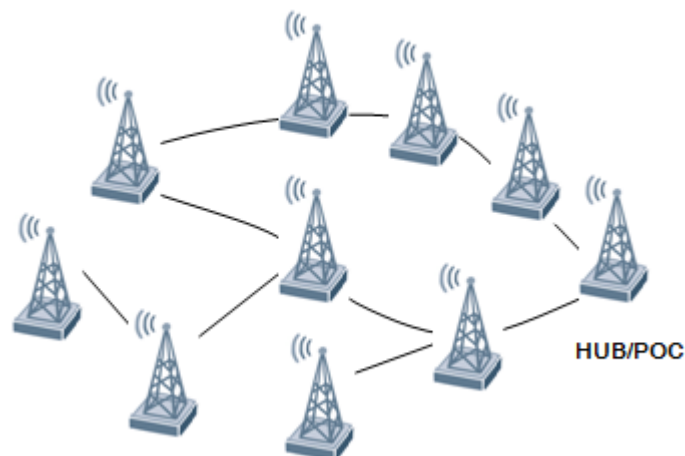


Ilustración 25. Topología en Anillo PMW

- Los anillos se diseñarán teniendo en cuenta que, en caso de fallo, pueda cursarse el 50% del tráfico por cada una de las rutas.
- No se podrán diseñar enlaces en paralelo.
- En anillos urbanos, la canalización ha de ser de 28MHz cuando el tráfico sea de hasta 8 nodos. En el resto de casos, la canalización que se adoptará será de 56MHz.
- La protección del anillo será ERPS (Del inglés, Ethernet Ring Protection Switching).

- **RED ALQUILADA**

- Los diseño que utilicen red alquilada deberán ser mínimos y se realizarán sí y sólo sí se descartan las dos opciones anteriores.
- Se solicitará un estudio de viabilidad a varios suministradores y se elegirá el que implique menor inversión.
- No se dará protección de ruta en acceso mediante esta solución.
- La capacidad de la ruta se calculará en función del tráfico del emplazamiento existente y nunca será inferior a 100Mbps.

#### 4.5.2 Escenarios Agregación

Tal y como se comentó en el apartado del HLD, la capa de agregación es una de las más importantes de la red, puesto que lleva el tráfico agregado de un conjunto de estaciones. Por ello siempre deberemos tener en cuenta que su diseño debe ir redundado para que, en caso de caída de una de las rutas, el tráfico se asigne a la ruta de protección. Todas las rutas se diseñarán teniendo en cuenta que, en caso de caída de una de las rutas al menos, el 75% del tráfico total agregado se podrá enviar por la ruta de protección. El esquema de diseño de esta capa de la red seguirá siempre el siguiente esquema:

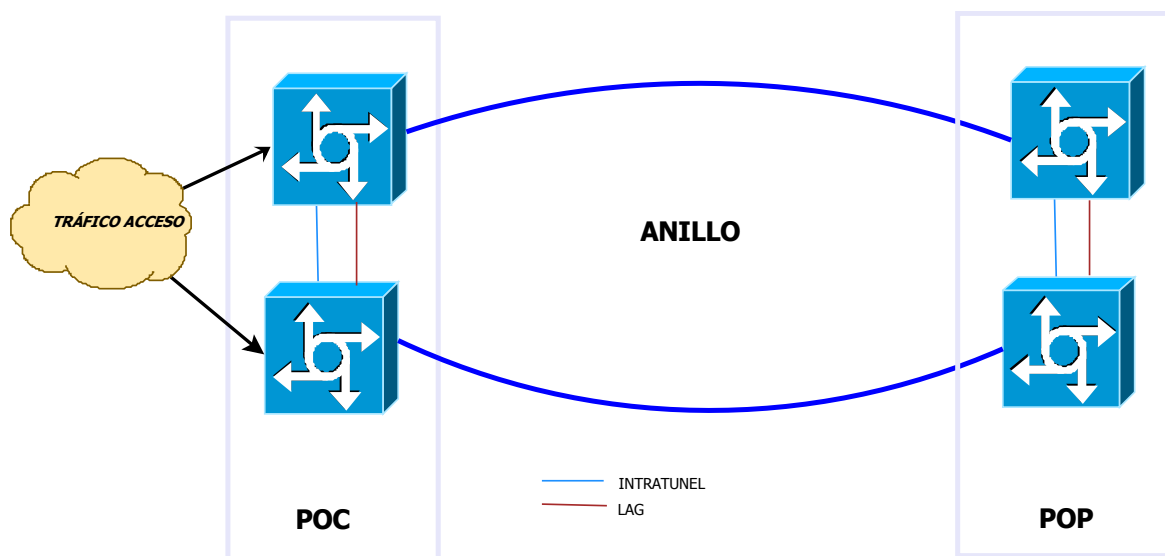


Ilustración 26. Esquema Red Agregación

El funcionamiento es sencillo, a la sede del POC llega tráfico de estaciones de acceso. A través de los PTNs, el tráfico se agrega con un factor de compresión del 80%. En cada sede tendremos dos PTNs funcionando en configuración Maestro-Esclavo<sup>17</sup>. Cada nodo tendrá definido cuál es su PTN Maestro y su PTN Esclavo de manera que si su tráfico llega a través del PTN Esclavo éste sea capaz de enviarlo al PTN Maestro por el Interfaz IntraTunel. La asignación se hace para respetar el balanceo de carga del anillo. Cuando el tráfico de los PTNs está asignado al PTN correspondiente se envía por el anillo hasta el POP. En caso de que una de las rutas del anillo falle, el interfaz LAG entre PTNs enviará el tráfico al PTN Esclavo y éste se enviará a través de la ruta de protección. Por tanto, a la hora de dimensionar la capacidad del anillo siempre habrá que tener en cuenta que los interfaces LAG e IntraTunel deberán absorber, al menos, el 75% del tráfico del POC.

El funcionamiento en el POP es análogo al del POC. El tráfico llegará a cada PTN por una de las patas del anillo y deberá enviarse al PTN que tenga definido como maestro por el interfaz IntraTunel. De ahí el tráfico se enviará al CORE tal y como se indicó en el apartado *Conexiones en el POP*.

En función del diseño del anillo de agregación se podrán distinguir los tres escenarios:

- **DOBLE RUTA MEDIANTE ANILLO PMW**

- Se constituirá un anillo de vanos PMW que no superen los seis enlaces. Deberá haber un máximo de tres saltos en cada ruta.
- La capacidad mínima de la ruta ha de ser de 100Mbps.
- El tráfico se enviará respetando el balanceo de los enlaces. Teniendo una ocupación similar en ambos enlaces.
- No se podrán instalar vanos en paralelo.

---

<sup>17</sup> Esta configuración se denomina Maestro-Esclavo y se utiliza para designar que uno será la protección del otro.

- Todos los canales de frecuencia deberán ser de 56Mhz. En caso de no ser posible, se utilizarán canales de 28MHz con antenas de doble polaridad.
- La configuración de los enlaces será 1+0 al tener protección de ruta.
- La disponibilidad de los enlaces a de ser de 99.997%.

- **DOBLE RUTA MEDIANTE ANILLO FO**

- Se constituirá un anillo de fibra que asuma el 100% del tráfico del POC por cualquiera de sus caminos.
- No podrá existir coincidencia de equipo físico en ninguno de los saltos del anillo.
- Los circuitos por la red de fibra se diseñarán punto a punto con una capacidad mínima de 1Gbps.
- El tráfico se enviará balanceado. Teniendo una ocupación similar en ambas patas del anillo.

- **DOBLE RUTA MEDIANTE RED ALQUILADA**

- Sólo se utilizará esta opción cuando ninguna de las dos opciones anteriores sea viable.
- Se solicitarán líneas alquiladas a dos suministradores diferentes, llevando el tráfico en balanceo de carga y siendo una ruta protección de la otra.
- La capacidad mínima de las rutas será de 100Mbps.

- **DOBLE RUTA MIXTA**

- En caso de que no sea posible el diseño de un anillo de PMW o Fibra, serán permitidos los siguientes escenarios:

RUTA 1	RUTA 2
<i>FO</i>	<i>FO</i>
<i>FO o LL ETH</i>	<i>PMW o LL ETH</i>
<i>PMW</i>	<i>PMW o LL ETH + PMW</i>

Tabla 6. Configuraciones Permitidas en Agregación

## 4.6 Plan de Red

Una vez que se tengan establecidos los criterios de diseño y tanto el HLD como el LLD hayan sido confirmados se comenzará en análisis del Plan de Red (PDR). En él, se definirán las acciones necesarias para desplegar el conjunto de nodos que formarán el Proyecto. El plan de red será la base para el presupuesto del proyecto y, en función de las necesidades, de la planificación. En este apartado se definirán los pasos más importantes para la elaboración de un PDR. Nos centraremos en el despliegue LTE de uno de los Municipios más habitados de Madrid, Leganés.

### 4.6.1 Selección de emplazamientos

En Leganés hay desplegadas veintisiete estaciones. El despliegue de LTE se hará en tres fases. Una primera fase con un clúster formado por los diez emplazamientos que cursan más tráfico del municipio y albergan clientes VIP (TOP 10). Una segunda fase que completará los diez nodos del municipio que cubren el área central del municipio. Y una fase final que finalizará con los últimos siete emplazamientos del municipio que dan cobertura al barrio de La Fortuna y áreas del extrarradio y se agregan en el POC II.

En la siguiente imagen se muestra la topología de red de Leganés:

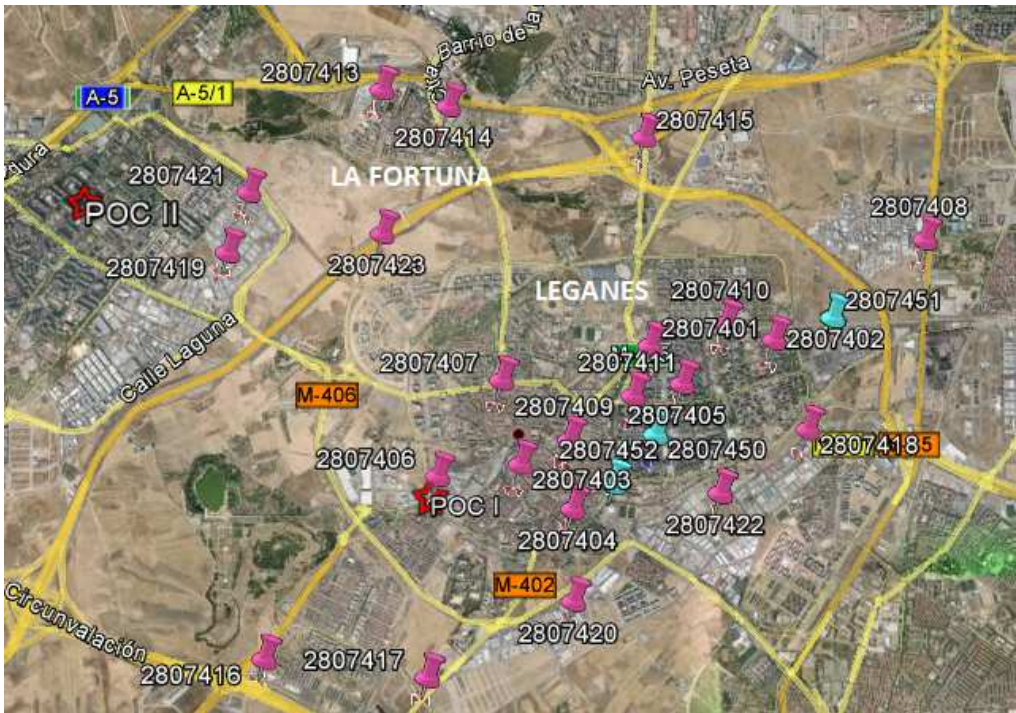


Ilustración 27. Estaciones Desplegadas en Leganés

4.6.2 Topología Acceso y Agregación

Como se indicaba en el apartado anterior, el municipio de Leganés cuenta con veintisiete estaciones y dos POCs que agregan su tráfico y lo llevan hasta el POC IV de Madrid.

La red de acceso está basada en las soluciones que explicamos en apartados anteriores: FTTN, PMW y Red Alquilada. En el siguiente cuadro muestra la distribución de estaciones en función de la fase de ejecución:

Tipo Transmisión	Fase I	Fase II	Fase III
FTTN	6	2	2
PMW	4	7	5
LL		1	
	10	10	7

Tabla 7. Transmisión Estaciones en Acceso

En cuanto a la capa de agregación, todo el tráfico de Leganés sale por dos POCs hasta la sede del POP donde se conectará con el Router BBIP. La topología de agregación es distinta en cada caso:

- **POC I**, lleva el tráfico de la mayor parte de los nodos de Leganés. Actualmente, su ruta hasta el POP está formada por un anillo de Fibra con capacidad de 1Gbps.
- **POC II**, lleva mayormente el tráfico del barrio de La Fortuna. Actualmente, su ruta hasta el POP está formada por un anillo de Fibra con capacidad de 450 Mbps.

En la siguiente imagen se muestra las conexiones de ambos POCs con el POP:

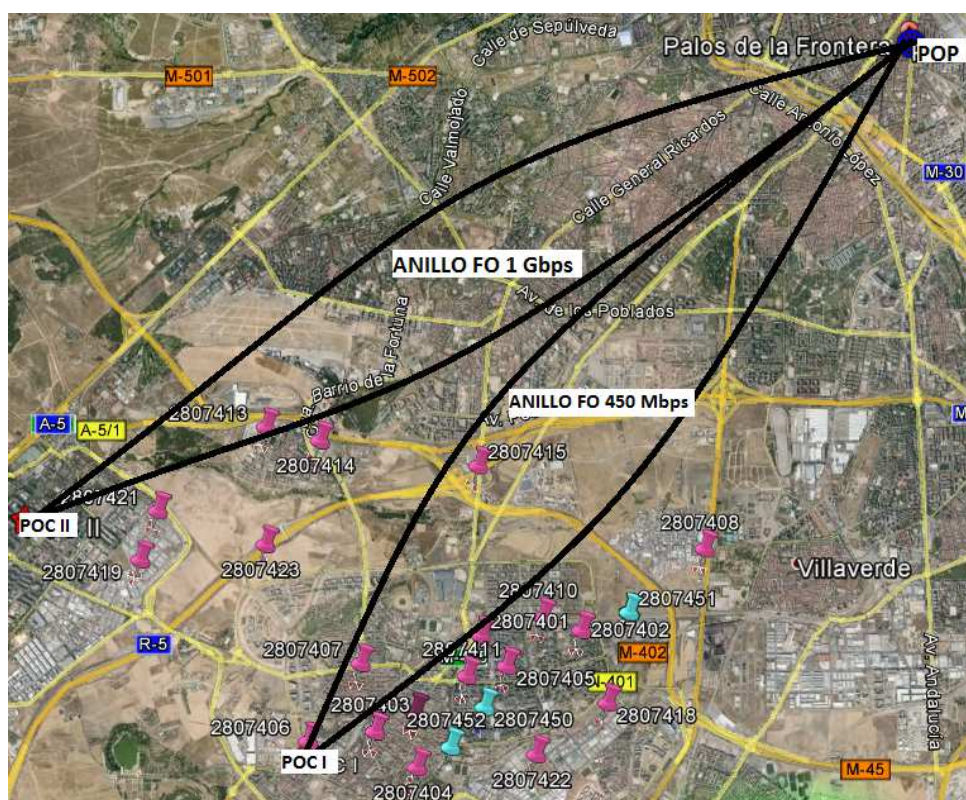


Ilustración 28. Topología en Agregación



### 4.6.3 Estudio de necesidades

Una vez que tenemos clara la topología de la red actual comenzaremos a analizar las necesidades de cada emplazamiento en función de los criterios establecidos en el HLD y el LLD. El Plan de Red tendrá una validez de seis meses por lo que las necesidades de tráfico se analizarán proyectando el tráfico actual a seis meses vista. Esto se realizará con los factores de crecimiento establecidos para LTE<sup>18</sup>, 5,18% crecimiento/mes. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados para el PDR de Acceso:

Código del Site	FASE LTE	Tecnología TX	POC	Capacidad Actual (Mbps)	Capacidad Necesaria LTE (Mbps)	%Ocupación lub Actual	Capacidad Proyectada 6 meses (Mbps)	Capacidad Necesaria	PMW Ampliación	Ampliar FTTN	Ampliar LL	SSPP	Nueva tarjeta PTN Coubicado
2807401	Fase I	FTTN	POC I	1000	100	6,94	93,856	193,856	--	--	--	--	1
2807402	Fase I	PMW	POC I	84	100	15,34	17,426	117,426	1	--	--	--	1
2807403	Fase I	FTTN	POC I	100	100	25,98	35,135	135,135	--	1	--	--	1
2807404	Fase I	FTTN	POC I	100	100	28,94	39,138	139,138	--	1	--	--	1
2807405	Fase I	FTTN	POC I	100	100	30,27	40,937	140,937	--	1	--	--	1
2807406	Fase I	FTTN	POC I	100	100	35,43	47,915	147,915	--	1	--	--	1
2807407	Fase I	PMW	POC I	84	100	23,11	26,253	126,253	1	--	--	--	1
2807408	Fase I	PMW	POC I	84	100	30,17	34,273	134,273	3	--	--	--	1
2807409	Fase I	FTTN	POC I	100	100	28,68	38,787	138,787	--	1	--	--	1
2807410	Fase I	PMW	POC I	84	100	26,58	30,195	130,195	1	--	--	--	1
2807411	Fase II	LL	POC I	2	100	27,28	0,738	100,738	--	--	--	1	1
2807412	Fase II	FTTN	POC I	1000	100	11,45	154,849	254,849	--	--	--	--	1
2807413	Fase III	PMW	POC II	84	100	22,2	25,219	125,219	2	--	--	--	1
2807414	Fase III	PMW	POC II	84	100	24,86	28,241	128,241	1	--	--	--	1
2807415	Fase III	PMW	POC II	84	100	23,19	26,344	126,344	1	--	--	--	1
2807416	Fase III	PMW	POC II	84	100	17,88	20,312	120,312	1	--	--	--	1
2807417	Fase III	PMW	POC II	180	100	18,45	44,913	144,913	--	--	--	--	--
2807418	Fase II	FTTN	POC I	100	100	29,69	40,153	140,153	--	1	--	--	1
2807419	Fase III	FTTN	POC II	100	100	36,69	49,619	149,619	--	1	--	--	1
2807420	Fase II	PMW	POC I	84	100	31,3	35,557	135,557	3	--	--	--	1
2807421	Fase III	FTTN	POC II	100	100	30,33	41,018	141,018	--	1	--	--	1
2807422	Fase II	PMW	POC I	84	100	24,75	28,116	128,116	2	--	--	--	1
2807423	Fase II	PMW	POC I	84	100	28,46	32,331	132,331	1	--	--	--	1
2807450	Fase II	PMW	POC I	84	100	17,01	19,324	119,324	1	--	--	--	1
2807451	Fase II	PMW	POC I	180	100	24,41	59,422	159,422	--	--	--	--	--
2807452	Fase II	PMW	POC I	84	100	60,34	68,547	168,547	1	--	--	--	1
2807453	Fase II	PMW	POC I	84	100	23,03	26,162	126,162	1	--	--	--	1

Ilustración 29. PDR Acceso Leganés

El PDR de Agregación es algo más sencillo ya que sólo se deberá analizar el tráfico en dos sedes y proyectarlo al igual que se ha hecho en el PDR de Acceso. En la siguiente tabla se muestra los cálculos realizados para el PDR de Agregación:

Alias	Número Nodos	Tecnología TX	POP	Capacidad Actual (Mbps)	%Ocupación Máxima Anillo	Capacidad Proyectada 6 meses (Mbps)	Capacidad Necesaria	Ampliar Anillo	SSPP	Tarjetas nuevas en PTNs
POC II	7	ANILLO FO	POP IV	1000	23,65	319,895	1000	0	0	0
POC I	20	ANILLO FO	POP IV	450	79,17	481,811	1000	1	1	2

Ilustración 30. PDR Agregación Leganés

<sup>18</sup> Véase el Anexo Aplicar Factores de Crecimiento



Como se puede observar en los resultados, sólo necesitaremos realizar una ampliación en el POC I. El POC II tendrá suficiente capacidad para albergar nodos LTE. En las siguientes gráficas podremos observar la evolución del tráfico de los seis meses siguientes al estudio:

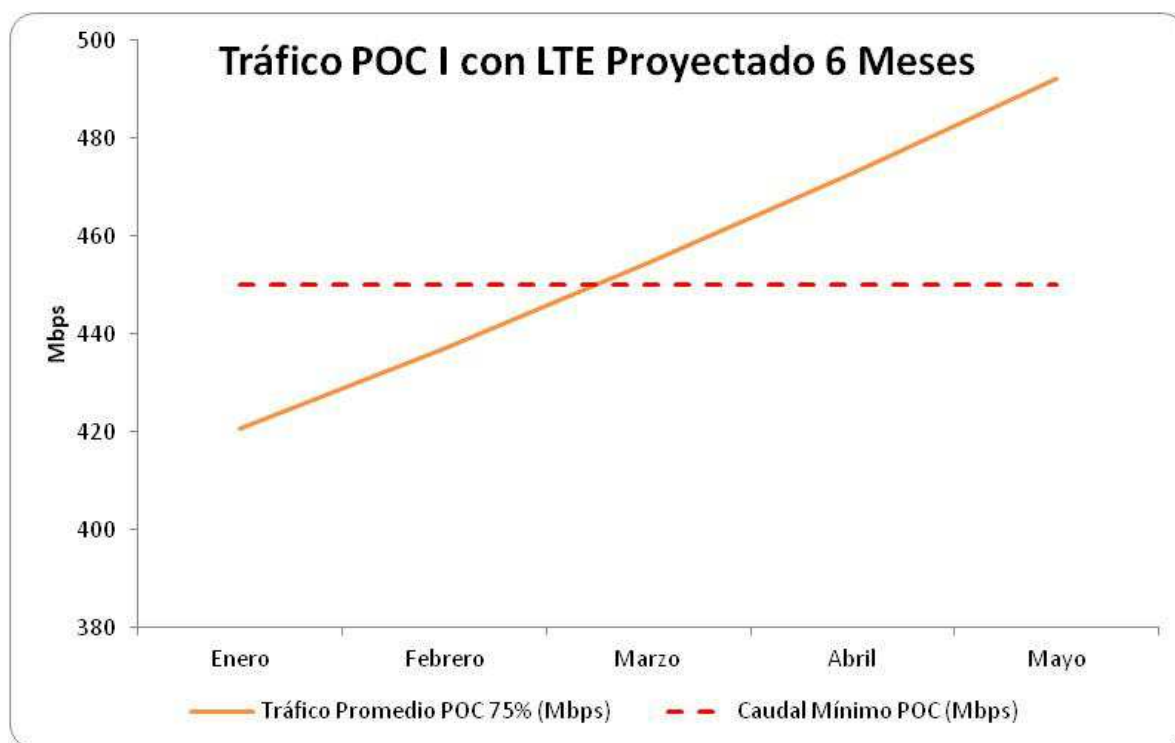


Ilustración 31. Tráfico POC I

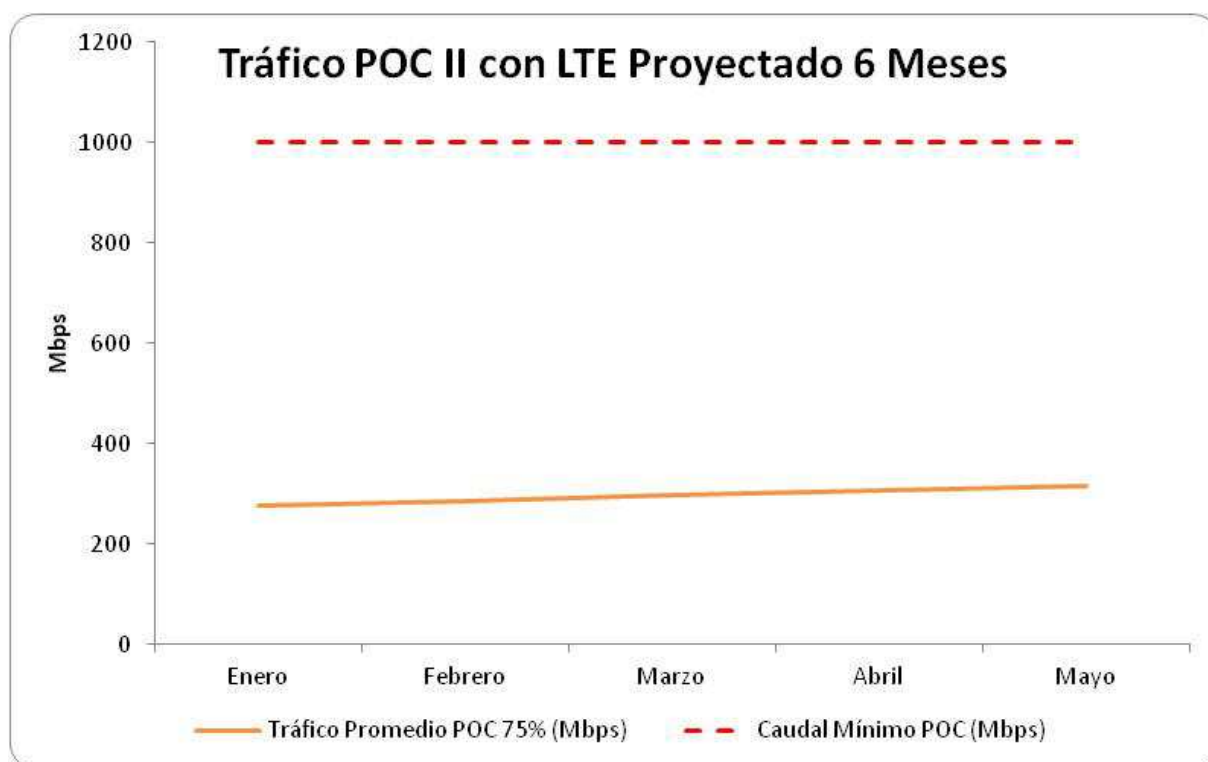


Ilustración 32. Tráfico POC II

Resumiendo, si agregamos todas las necesidades estudiadas en ambos PDRs, necesitaríamos realizar las siguientes acciones para poder desplegar LTE en el municipio de Leganés:

FASE DESPLIEGUE		RED ACCESO					RED AGREGACIÓN		
		Ampliación PMW	Ampliar FTTN	Ampliar LL	SSPP	Nueva tarjeta PTN Red Acceso	Ampliar Anillo	SSPP	Nueva tarjeta PTN Red Agregación
UNIDADES NECESARIAS	Fase I	6	5	0	9	11	1	1	2
	Fase II	9	1	1	8	4			
	Fase III	5	2	0	6	4			
	TOTAL	20	8	1	23	19	1	1	2

Tabla 8. Necesidades Despliegue LTE Leganés

Siendo los conceptos detallados a continuación:

- **Ampliación PMW**, todas las ampliaciones de capacidad necesarias para PMW. El primer despliegue de PMW en acceso se hizo con una capacidad de 84 Mbps por vano en acceso. La ampliación en este proyecto se hará para garantizar un caudal de 300Mbps. Este acción incluye los siguientes conceptos:

- Diseño del nuevo radioenlace en IQ-LINK<sup>19</sup>.
  - Licencia ampliación radioenlace a 300Mbps.
  - Documentación en BBDD y Gestores de la compañía.
  - Instalación y adecuación de equipos en caso necesario.
  - Integración y puesta en servicio.
  - Dos visitas a campo.
  - No incluye la migración de tráfico. Se hará dentro del concepto SSPP, explicado a continuación.
  - No incluye diseño de ampliación de nuevas tarjetas en PTNs.
- **Ampliación FTTN**
    - Diseño de la ampliación en PTNs e interfaces.
    - Documentación en BBDD y Gestores de la compañía.
    - No incluye diseño de ampliación de nuevas tarjetas en PTNs.
    - Instalación y adecuación de equipos y/o tarjetas en caso necesario.
    - Integración y puesta en servicio.
    - No incluye la migración de tráfico. Se hará dentro del concepto SSPP, explicado a continuación.

---

<sup>19</sup> Herramienta para diseño de radioenlaces

- **Ampliación LL**

- Solicitud a los operadores de estudio de viabilidad de la LL y evaluación de los costes y mejor opción en función del diseño propuesto de transmisión.
- Diseño de la ampliación y de la migración del tráfico para garantizar la transmisión *End-To-End* (En Adelante, E2E).
- Integración, puesta en servicio y migración de tráfico durante un trabajo programado (En Adelante, TP) en horario nocturno.
- Seguimiento de los KPIs para garantizar que los trabajos se han realizado correctamente.
- No incluye diseño de ampliación de nuevas tarjetas en PTNs.

- **SSPP – Servicios Profesionales**

- Dentro de este ítem se solicitarán trabajos de diseño y/o migración de tráfico tanto para acceso como para agregación.
- Se solicita un ítem por acción.

- **Nueva Tarjeta PTN Red Acceso/Agregación**

- Diseño instalación de nuevas tarjetas en PTNs.
- Se solicitará un ítem por PTN.
- Documentación en BBDD y Gestores.
- Instalación y puesta en servicio.
- No incluye migración de tráfico.

- **Ampliar Anillo**

- Proyecto técnico diseño de un anillo de fibra o PMW.
- Se realizará el diseño garantizando la transmisión E2E.
- Incluye el diseño de ampliaciones de tarjetas en PTNs así como la migración de tráfico.
- Integración, puesta en servicio y migración de tráfico durante un trabajo programado (En adelante, TP) en horario nocturno.

## 4.7 Presupuesto

Con las necesidades detectadas, sólo quedaría realizar un mapeo de Módulos de Coste (MC) para cerrar el presupuesto de diseño de transmisión que posibilite el despliegue de LTE en Leganés. Cada acción tiene asociado un coste, en la siguiente tabla se muestra en detalle:

		RED ACCESO					RED AGREGACIÓN		
FASE DESPLIEGUE		Ampliación PMW	Ampliar FTTN	Ampliar LL	SSPP	Nueva tarjeta PTN Red Acceso	Ampliar Anillo	SSPP	Nueva tarjeta PTN Red Agregación
MC ASOCIADO		€ 10.451,32	€ 11.571,32	OPEX	€ 2.764,87	€ 2.922,14	€ 12.789,00	€ 3.981,36	€ 7.143,84
COSTES ASOCIADOS	Fase I	€ 62.707,92	€ 57.856,60		€ 24.883,83	€ 32.143,54	€ 12.789,00	€ 3.981,36	€ 14.287,68
	Fase II	€ 94.061,88	€ 11.571,32		€ 22.118,96	€ 11.688,56			
	Fase III	€ 52.256,60	€ 23.142,64		€ 16.589,22	€ 11.688,56			
	TOTAL	€ 209.026,40	€ 92.570,56		€ 63.592,01	€ 55.520,66	€ 12.789,00	€ 3.981,36	€ 14.287,68
		€ 451.767,67							

Tabla 9. Presupuesto Acceso y Agregación Despliegue LTE Leganés

Desplegar LTE en Leganés supondría un coste de 452k€ en CAPEX sólo en necesidades de acceso y transmisión. A esto deberíamos sumarle el impacto de la LL. Al ser un gasto en OPEX la cotización se debe hacer aparte, se calcularía el coste mensual y se calculará el coste anual equivalente (FYE).

Una vez que tengamos el EV de las operadoras nos quedaríamos con la oferta más económica. Para la LL que necesitamos en el emplazamiento 2807411 se ha solicitado un EV a un operador y su presupuesto es el siguiente:

- **Coste Puesta en Servicio (único pago):** 4961.27€
- **Coste Mensual** (aplicando los descuentos acordados en el marco de la compañía): 3940.32€/mes

Con esta información calculamos el FYE con una tabla como la que se muestra a continuación, a partir de ahora empezaremos a tratar la información económica en kilo €, k€:

	MC Mes (k€)	Gasto Ac (k€)
Enero	3,94	3,94
Febrero	3,94	7,88
Marzo	3,94	11,82
Abril	3,94	15,76
Mayo	3,94	19,70
Junio	3,94	23,64
Julio	3,94	27,58
Agosto	3,94	31,52
Septiembre	3,94	35,46
Octubre	3,94	39,40
Noviembre	3,94	43,34
Diciembre	3,94	47,28

→ FYE

Tabla 10. Coste OPEX (k€)

Antes de cerrar el coste de la LL en OPEX deberíamos tener en cuenta el ahorro que tendremos al dar de baja la transmisión alquilada que tiene actualmente la estación. La estación 2807411 tiene un E1 de 2Mbps con transmisión alquilada. Sólo está cursando tráfico 2G-900 por lo que al implantar 4G daremos 3G y 2G-1800. Es una estación con muchos problemas de disponibilidad pero, por problemas con la propiedad, no se ha podido acceder al emplazamiento anteriormente y estaba dimensionada por debajo de sus necesidades, de hecho el lub está al 100% de ocupación. Por tanto, si tenemos en cuenta que actualmente pagamos 0.35k€/mes por transmisión alquilada, el FYE neto quedaría como se muestra en la siguiente tabla:

	MC Mes (k€)	Gasto Ac (k€)	Ahorro (k€)	Ahorro Ac (k€)	Gasto Real (k€)
Enero	3,94	3,94	0,35	0,35	3,59
Febrero	3,94	7,88	0,35	0,69	7,19
Marzo	3,94	11,82	0,35	1,04	10,78
Abril	3,94	15,76	0,35	1,39	14,37
Mayo	3,94	19,70	0,35	1,74	17,97
Junio	3,94	23,64	0,35	2,08	21,56
Julio	3,94	27,58	0,35	2,43	25,15
Agosto	3,94	31,52	0,35	2,78	28,75
Septiembre	3,94	35,46	0,35	3,12	32,34
Octubre	3,94	39,40	0,35	3,47	35,93
Noviembre	3,94	43,34	0,35	3,82	39,53
Diciembre	3,94	47,28	0,35	4,16	43,12

→ FYE

Tabla 11. Coste OPEX Neto (k€)

Resumiendo, el coste total de desplegar transmisión en acceso y agregación para dar cobertura LTE en el Municipio de Leganés sería de 452k€ en CAPEX y 43.13k€ en OPEX FYE.





# Capítulo 5

## Fase de Ejecución

### 5.1 Introducción

Esta fase es la más larga del proyecto junto con la fase de Planificación. Ambas fases se solapan en el tiempo ya que no todos los PDRs de un proyecto se cierran a la vez y el plan de activaciones de cada municipio se va cerrando conforme se van desplegando nodos LTE.

Cuando el grupo de Planificación ha cerrado el PDR de un Municipio y ha cotizado su impacto económico, el departamento de construcción realizará todos los pedidos necesarios para que el PDR se haga realidad. Por un lado estarán los pedidos de equipos y tarjetas y por otro los pedidos relacionados con el diseño y la implantación de las nuevas necesidades de la red. En este capítulo nos centraremos en el diseño de una ampliación PMW con la herramienta IQ·LINK y el estudio de viabilidad de una ampliación en un anillo de FO.

### 5.2 Diseño Ampliaciones

#### 5.2.1 Ampliación PMW

Las ampliaciones PMW se diseñan con la herramienta IQ·LINK®, desarrollada por la empresa Comsearch®. IQ·LINK® da la posibilidad de diseñar radioenlaces punto a punto o multipunto realizando un estudio en profundidad tanto a nivel de interferencias como a nivel de disponibilidad.

Para diseñar una ampliación de capacidad de un vano, crearemos el vano desde el principio y luego eliminaremos el anterior. Se seguirán los siguientes pasos:

- **Acceso a la aplicación:** El software de IQ-LINK® es libre y se puede descargar desde la página web de los desarrolladores. El problema son las BBDD con la información de la red, que dependerá de cada operador. Para acceder a la aplicación nos logaremos en la siguiente interfaz:



Ilustración 33. Menú Acceso IQ-LINK

- **Crear un emplazamiento, en adelante site<sup>20</sup>:** En el caso de que la ampliación aproveche una reingeniería y cambie de orientación a un nuevo punto, podemos encontrarnos con que uno de los extremos no está creado. Para crear un emplazamiento seleccionaremos Database > Update/Search > Sites > Add. En este menú deberemos rellenar la siguiente información:
  - Site Id
  - Site Name
  - Latitude, Longitude
  - UTM Zona
  - Structure Height

<sup>20</sup> Aunque es un Anglicismo, se utilizará este término al ser el más extendido.

**Site Database Interface - Add**

Site Id:  Class: ☒ Site ☐ Site-In-Progress

Site Location Id:

Site Name:

Latitude:  ☒ Lat/Lon

Longitude:

UTM Zone:  UTM

Northing:  ☐ Alternate

Easting:  Hemisphere: ☒ Northern ☐ Southern

Grnd Elev:  m

Structure Height:  m

Mean Time to Repair:  Hours

**Additional details**

Owner:

Street/Ground Area:

Zip Code and City:

Country:

Site Type:

Site Comment 1:

2:

Network View Site Info:

Ilustración 34. Diseño IQ-LINK®. Crear Site.

- **Creación del radioenlace:** Accederemos a través de la opción Engineering de la pantalla principal.

**Design...**

**Location ID:** 2807402 **2807441**

**Site ID:** 2807402 **2807441**

**Name:**

**Structure Height:** 20.00 m **6.00 m**

**Lat Lon:** 40-30-8.2 N 3-54-8.0 W **40-29-33.0 N 3-53-53.0 W**

**UTM Zone:** N E:30:4483898.5 423553.3 **30:4482809.5 423895.3**

**Azimuth:** 161.98 Deg **341.98 Deg**

**Tilt:** 1.46 Down **1.45 Up**

**Length:** **1.14 km**

**Band:** 38.00 GHz **Frequency Assignment: Paired**

---

**Radio**

**Capacity/Modulation:** 8x2 Mb/s / CQPSK 1+0 **8x2 Mb/s / CQPSK 1+0**

**Power:** 17.00 dBm **17.00 dBm**

**Branching Loss:** Tx: 0.00 dB Rx: 0.00 dB **Tx: 0.00 dB Rx: 0.00 dB**

**Frequency Plan:** High Low **Low High**

**Channel**

**Polarization:**

**Main Ant.**

**UKY 210 75/SC15** **UKY 210 75/SC15**

**Gain:** 40.00 dBi **40.00 dBi**

**Height:** 20.00 m AGL **6.00 m AGL**

**Lat/Lon:** 40-30-8.2 N/3-54-8.0 W **40-29-33.0 N/3-53-53.0 W**

**EIRP:** 36.00 dBm **36.00 dBm**

**Diversity Ant.:**

**Gain:** dBi **dBi**

**Height:**

**Waveguide**

**NIL** **NIL**

**Total Length:**

**Total Loss:** dB **dB**

**Attenuator**

**VARIABLE** **VARIABLE**

**Attenuator Loss (Common Tx Rx):** 0.00 dB 21.00 dB 0.00 dB **0.00 dB 21.00 dB 0.00 dB**

**Other Losses:** 0.00 dB **0.00 dB**

---

**Created By:** mdurahi **Field Margin:** 2.00 dB **Free Space Loss:** 125.19 dB

**Region:** 1 **Absorption Loss:** 0.12 dB

**ID:** AL-PA | 8X2 Confirmed **Total Prop. Loss:** 125.32 dB

**Ilustración 35. Diseño IQ-LINK. Información General**

Esta pestaña contiene toda la información relativa al diseño del radioenlace:

- ✓ En el cuadro Rojo se encuentra la información sobre la ubicación de los extremos del radioenlace, el azimut de una parábola hacia la otra, el Tilt y la banda de frecuencias asignada. Esta sección sólo variará en el caso de tener

que modificar la frecuencia del radioenlace tras el análisis de interferencias o si no cumplimos los criterios de disponibilidad marcados.

- ✓ En el cuadro Azul encontraremos la información de los equipos instalados en cada extremo del radioenlace. Antenas asociadas, capacidad, potencia, canalización y polarización. El nuevo equipo se seleccionará en función de la capacidad y de la banda de frecuencias. En caso de tener que cambiar de frecuencias, tendremos que cambiar de equipos. La capacidad se fijará en función del resultado del PDR y la protección será 1+1 a excepción de que sea final de cadena. También aparecen los menús para introducir atenuadores y guías de onda.
- ✓ En el cuadro Verde aparecerá información del usuario que realizó el diseño del radioenlace, las pérdidas en espacio libre, de absorción y de propagación.

Para completar esta pestaña realizaremos los siguientes pasos:

- ✓ **Asignar extremos del vano:** File > Create Link. Seleccionaremos los extremos del nuevo radioenlace y se comprobará la Línea de Vista (LOS) pulsando en la opción Profile. En el perfil del vano se deberá comprobar que no hay obstáculos entre los dos puntos del radioenlace y no hay líneas de Fresnel afectadas por el terreno. En la siguiente imagen se muestra el perfil de un radioenlace:

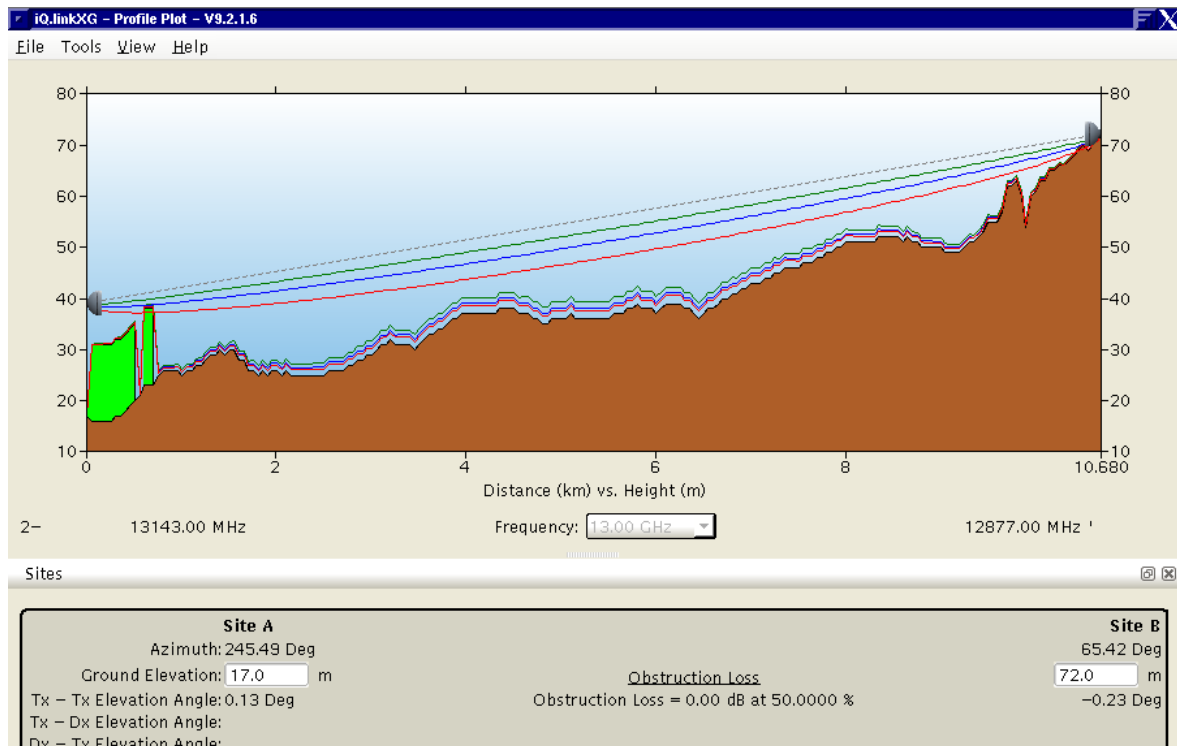


Ilustración 36. Perfil IQ-LINK

- ✓ **Asignar Banda de Frecuencia:** Normalmente la frecuencia viene impuesta por el HLD. Se recomendarán 38GHz para vanos con distancia menor a 5 Km, 26GHz si está entre 5 y 10 Km y 13GHz si la distancia es mayor a 10Km. A mayor distancia, menor frecuencia para cumplir con los criterios de disponibilidad por lluvia.

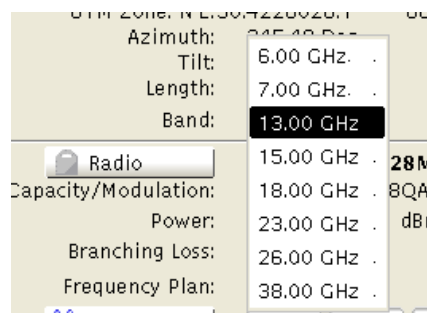


Ilustración 37. Selección Frecuencia

- ✓ **Asignar Equipos Radio:** Pinchando sobre Radio > Search aparecerá el listado de equipos radio en función de la capacidad, la frecuencia y el ancho de banda. Pulsando en la opción Apply podremos asignar los equipos a los extremos del enlace:

iQ.linkXG - Radio Details - V9.2.1.43

**TRANSMITTER:** Site A (Down Link) ☒ Synchronize Site A & B **TRANSMITTER:** Site B (Up Link)

**General Parameters**

Model: TN 38G 17x2 16QAM-RAU2 N  
Capacity/Mod.: 17x2/16QAM Bandwidth: 14.000000 MHz  
Minimum Power: -5.00 dBm Maximum Power: 16.00 dBm

**Adaptive Modulation**

Modulations: View Configuration

**RTPC**

RTPC Max Power: 16.00 dBm  
RTPC Attenuator: 0.00 dB

**ATPC**

ATPC: Yes ☐ No ☒ ATPC Range: N/A  
Max ATPC Trigger: 30.000 dBm Min ATPC Trigger: 30.000 dBm

**Configuration**

Config Option: Yes ☐ No ☒ (for [n+m] radio configuration or protection)

Configuration Option	Transmit (dB)	Receive (dB)
1 1+1_A_HSBY	1.60	1.60
2 1+1_S_HSBY	3.70	3.70

**RECEIVER:** Capacity: 17x2 Mb/s Bandwidth: 14.000000 MHz  
10<sup>-3</sup> Threshold: -81.00 dBm 10<sup>-6</sup> Threshold: -80.00 dBm

Search Apply Cancel

Ilustración 38. Asignar Equipos Radio (I/II)

IQ LinkXG - Radio List - V9.2.1.43

Query by

Radio ID:  Manufacturer:

Model:  Capacity:

☐ Show Conditional Status

ID	Bandwith	Model	Capacity	Manufacturer	Status	
1	2184	28.000000	TNode 38/2N 32x2 16QAM-RAU2N	32x2	ERICSSON	Active
2	2185	28.000000	TNode38/2N 32x216QAM-RAU2N-LP	32x2	ERICSSON	Active
3	2226	14.000000	TN 38G 22x2 16QAM-RAU2 N	22x2	ERICSSON	Active
4	2227	28.000000	TN 38G 46x2 16QAM-RAU2 N	46x2	ERICSSON	Active
5	2228	14.000000	TN 38G 35x2 128QAM-RAU2 N	35x2	ERICSSON	Active
6	2229	28.000000	TN 38G 75x2 128QAM-RAU2 N	75x2	ERICSSON	Active
7	2282	3.500000	TN 38G 2x2 C-QPSK-RAU2 N	2x2	ERICSSON	Active
8	2283	7.000000	TN 38G 4x2 C-QPSK-RAU2 N	4x2	ERICSSON	Active
9	2284	14.000000	TN 38G 8x2 C-QPSK-RAU2 N	8x2	ERICSSON	Active
10	2285	28.000000	TN 38G 17x2 C-QPSK-RAU2 N	17x2	ERICSSON	Active
11	2286	3.500000	TN 38G 2x2 C-QPSK-RAU2 N-LP	2x2	ERICSSON	Active
12	2287	7.000000	TN 38G 4x2 C-QPSK-RAU2 N-LP	4x2	ERICSSON	Active
13	2288	14.000000	TN 38G 8x2 C-QPSK-RAU2 N-LP	8x2	ERICSSON	Active
14	2289	28.000000	TN 38G 17x2 C-QPSK-RAU2 N-LP	17x2	ERICSSON	Active
15	2290	14.000000	TN 38G 17x2 16QAM-RAU2 N	17x2	ERICSSON	Active
16	2291	56.000000	TN 38G 155 16QAM-RAU2 N	155	ERICSSON	Active
17	2292	28.000000	TN 38G 155 128QAM-RAU2 N	155	ERICSSON	Active
18	2293	7.000000	TN 38G 8x2 16QAM-RAU2 N-LP	8x2	ERICSSON	Active
19	2294	14.000000	TN 38G 17x2 16QAM-RAU2 N-LP	17x2	ERICSSON	Active
20	2295	56.000000	TN 38G 155 16QAM-RAU2 N-LP	155	ERICSSON	Active
21	2296	28.000000	TN 38G 155 128QAM-RAU2 N-LP	155	ERICSSON	Active
22	2297	14.000000	TN 38G 22x2 16QAM-RAU2 N-LP	22x2	ERICSSON	Active
23	2298	28.000000	TN 38G 46x2 16QAM-RAU2 N-LP	46x2	ERICSSON	Active
24	2299	14.000000	TN 38G 35x2 128QAM-RAU2 N-LP	35x2	ERICSSON	Active

Search Reset Apply Cancel

Ilustración 39. Asignar Equipos Radio (II/II)

- ✓ **Seleccionar la protección del vano:** En función de las pérdidas que pueda tener nuestro vano, deberemos tener en cuentas la protección que asignaremos a los equipos extremos e intermedios (guía-ondas, splitters, etc.):
  - **1+0:** Sin Protección.
  - **1+1:** Protegido. Dos equipos y Dos antenas.



- **1+1 con Splitter Simétrico Integrado: Dos equipos + Una antena + Splitter):** el Splitter introduce las mismas pérdidas en ambos extremos del enlaces, de forma que el enlace queda balanceado en caso de no recibir los mismos niveles de potencia (tiene los mismos niveles de potencia en cada uno de los extremos del enlace).
  - **1+1 con Splitter Asimétrico Integrado: Dos equipos + Una antena + Splitter):** el Splitter introduce distintas pérdidas en ambos extremos del enlaces, de forma que el enlace no queda balanceado.
  - **1+1 con Splitter Asimétrico/Simétrico No Integrado: Dos equipos + Una antena + Guíaonda + Splitter):** el Splitter y la guía onda introducen distintas pérdidas en ambos extremos del enlaces, de forma que el enlace no queda balanceado.
- ✓ **Seleccionar Criterio High Low:** Este criterio es necesario ya que en un mismo site se pueden diseñar radioenlaces dentro de la misma banda de frecuencias. Se definirá un criterio de transmisión, parte alta o baja de la pareja de portadoras, que se deberá respetar para todos y cada uno de los radioenlaces que se diseñen en ese site. Podrán existir conflictos, casos excepcionales, pero se deberán tomar medidas de contingencia para reducir lo máximo posible las interferencias entre la transmisión y a recepción del emplazamiento, por ejemplo, colocar las antenas en mástiles y alturas diferentes.
- ✓ **Asignar Antenas:** Para seleccionar las antenas nos iremos a Main Engineering > Main Antena > Search. Ahí nos aparecerá un listado de antenas en función de su diámetro. La antena de cada emplazamiento se seleccionará como Primary y se indicará la altura a la que se instalará la antena. Por último, pulsaremos en Apply para que el cambio sea efectivo. Cuanto mayor sea el tamaño de la antena, mayor será la ganancia y, por tanto, mayor el nivel de recepción. Siempre se debe intentar utilizar antenas con el menor tamaño posible, evitamos sobrecargar la estructura y el impacto visual del

emplazamiento es menor. En telefonía móvil no se suelen utilizar antenas de más de 2.4.

**iQ.linkXG - Antenna Details - V9.2.1.43**

**LAS ROZAS** **CC Gran Plaza 2 Majadahonda**

**Primary Antenna:** UKY 210 75/SC15 UKY 210 75/SC15

Gain (dBi): 40.00 40.00

Height (m AGL): 20.00 6.00

**Diversity Antenna:** NIL NIL

Gain (dBi):

Height (m AGL):

Spacing (m):

**Antenna Coordinate and Mast details**

Reset Latitude: 40-30-8.200 N 40-29-33.000 N

Longitude: 3-54-8.000 W 3-53-53.000 W

Alternate: ☐ Region: 30 30

Northing: 4483898.5 4482809.5

Easting: 423553.3 423895.3

Mast: NIL NIL

Search Apply Cancel

Ilustración 40. Selección de Antenas (I/II)

**iQ.linkXG - Antenna List - V9.2.1.43**

	Size (m)	Gain (dBi)	Model	Manufacturer	Status
6	0.30	38.70	UKY 210 08/SC11	Ericsson	Active
7	0.60	44.00	UKY 210 09/SC11	Ericsson	Active
8	0.20	36.60	UKY 210 61/SC15	Ericsson	Active
9	0.30	39.40	UKY 210 75/DC12 DP	Ericsson	Active
10	0.30	40.40	UKY 210 75/DC15	ERICSSON	Active
11	0.30	40.00	UKY 210 75/SC15	Ericsson	Active
12	0.60	44.80	UKY 210 80/DC12 DP	Ericsson	Active
13	0.60	44.30	UKY 210 80/DC15	ERICSSON	Active
14	0.60	44.30	UKY 210 80/SC15	Ericsson	Active

☐ Show Conditional

Apply Site A Apply Site B Cancel

Ilustración 41. Selección de Antenas (II/II)

- ✓ **Asignar Guía de Onda:** En caso de utilizar una de las configuraciones que necesitan guía de onda (Splitter no integrado o enlaces con antenas no integradas) deberemos añadir guía de onda. Para ello seleccionaremos Waveguide > Search y seleccionaremos la guía de onda de cada emplazamiento como Primary. Se añadirá la longitud y se dará a Apply.

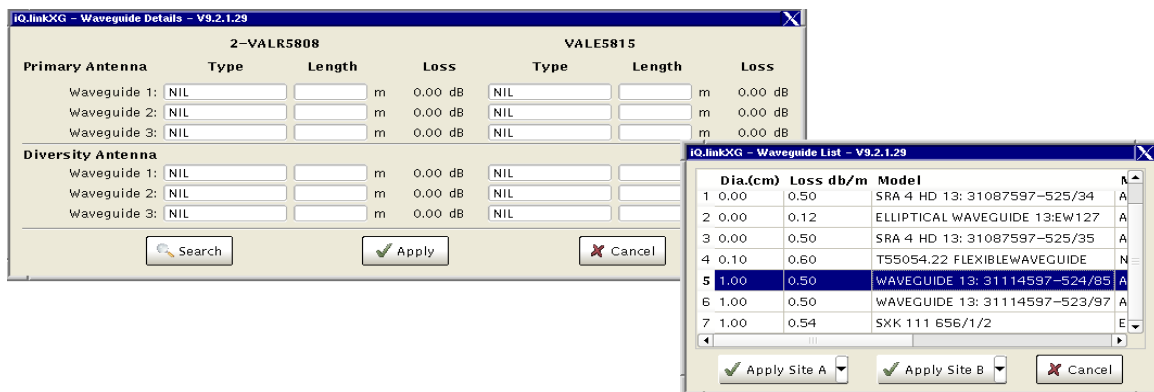


Ilustración 42. Añadir Guía de Onda.

- ✓ **Filed Margin (Margen de Campo):** En este valor se consideran las pérdidas debidas a un posible desalineamiento de las parábolas y a las debidas a degradación del enlace por interferencia. Se añadirá en la opción Main Engineering. Los valores a asignar podrán ser:
  - 1dB si la banda de frecuencia es 26GHz ó 38GHz.
  - 3dB para el resto de bandas de frecuencias y vanos XPIC<sup>21</sup>.
  - 3dB adicionales en vanos con un extremo por encima de los 2000 metros para compensar los efectos del deshielo de nieve y antenas.
- **Menú Diseño:** En este menú comprobaremos la calidad y disponibilidad del enlace en función de la selección de elementos del paso anterior. Pulsando sobre el menú diseño entraremos en la siguiente ventana:

<sup>21</sup> Capacidad de los vanos de doblar su capacidad configurada.

Link Id: AX0006PM Design Id: 01 Objectives: General Prediction Method: P.530-8

**Fade Margin** Details

Site A Site B

Site Id/Location Id: 2807402 2807441

Site Name:

Obstruction Loss: 0.00 dB At 50.0000%

Rx Filter Attenuation:

Receive Level: -38.20 dBm -38.20 dBm

Threshold:  $10^{-6}$  BER  $10^{-3}$  BER -70.50 dBm -70.50 dBm

Composite Fade Margin: 30.30 dB 30.30 dB

**Rain** Rain Rate Selection 4

Rain Model / Zone: ITU-R P.837-1/ 0.0 mm/hr

☐ Combined Rain and Sleet

Polarity: Horizontal

**Multipath** Details 5

Geoclimatic: 3.200 x  $10^{-8}$  Default

Roughness: 1.00 Default Calc. from Terrain

Climate: 1.00

Avg Ann. Temp: 10.00 °C

**Diversity**

A->B Space Div. Improvement Factor: NIL

B->A Space Div. Improvement Factor: NIL

☐ Frequency Diversity

A->B Diversity Improvement Factor: NIL

B->A Diversity Improvement Factor: NIL

Target Objective ADM Statistics 6

Availability: 157/128QAM G.826 Details...

Performance/Outage: 157/128C G.826 Details...

**Results** 7

Two Way Unavailability: WM Annual Outage: WM Annual View All Modulations

Unavailability:	(100 - %)	(%)	(sec)	(sec/km)
Rain	99.999644	0.0004	112.15	10.50
Outage:	(100 - %)	(%)	(sec)	(sec/km)
Flat Multipath	99.999999	0.0000	0.01	0.00
Selective	99.999999	0.0000	0.00	0.00
Total Outage	99.999999	0.0000	0.01	0.00

Generic Voice Data

Recalculate Info OK Print

Ilustración 43. Menú Diseño

- ✓ **Modelo de Predicción:** Dentro de las recomendaciones del ITU -T orientadas a las mediciones de BER se encuentran la G.821, G.826 y General. En nuestro caso, seleccionaremos la opción General. El método para predecir las distribuciones de los desvanecimientos debido a la propagación multitrayecto es el P.530-8, modelo más desfavorable.
- ✓ **Fade Margin (Margen de Desvanecimiento):** Cuando las ondas se propagan se produce un desvanecimiento selectivo. Este desvanecimiento produce unos picos de atenuación denominados *Notch* que afectan a ciertas

frecuencias. En los PMW con capacidad elevada esta atenuación tiene mucho impacto por lo que se deben garantizar unos niveles de Fade Margin:

- 15dB de margen para BER 1E-6 en modulación más alta en las bandas de 26 y 38GHz.
- 23dB de margen para BER 1E-6 en la modulación más alta en las bandas por debajo de 26GHz.

Fade Margin		Details
Site Id/Location Id:	Site A AX5808 /	Site B AX0241 /
Site Name:	2-VALRS808	VALE5815
Obstruction Loss:	0.00 dB At 50.0000%	
Rx Filter Attenuation:		
Receive Level:	-38.20 dBm	-38.20 dBm
Threshold: <input type="text"/> dB BER <input type="text"/>	-67.00 dBm	-67.00 dBm
Composite Fade Margin:	26.80 dB	26.80 dB

Ilustración 44. Fade Margin (I/II)

Fade Margin		Details
Thermal Fade Margin:	Site A 28.80 dB	Site B 28.80 dB
Flat FM:	26.80 dB	26.80 dB
Dispersive FM:		
Required FM:	0.00 dB	0.00 dB
Interference Degradation:	0.00 dB	0.00 dB
Interference FM:		

Ilustración 45. Fade Margin (II/II)

- ✓ **Índice de Lluvia:** Para indicar el índice de lluvia nos iremos al Menú Rain > Rain Rate Selection. En la casilla ITU-R Rain Rate e introducimos el valor más restrictivo para la provincia donde esté el radioenlace. En el caso de que el radioenlace sea entre dos provincias se elegirá el caso más restrictivo.

Rain		Rain Rate Selection
Rain Model / Zone: ITU-R P.837-1/ 32.0 mm/hr		
<input type="checkbox"/> Combined Rain and Sleet		
Polarity: <input type="text"/> Horizontal		

Ilustración 46. Índice de Lluvia (I/II)

Rain		Rain Rate Selection
<input type="checkbox"/>	Selection Method:	Default
<input checked="" type="checkbox"/>	ITU-R Rain Rate:	32.000 mm/hr

Ilustración 47. Índice de Lluvia (II/II)

Para consultar los índices de lluvia por provincia consultar el Anexo *Índices de Intensidad por Lluvia*.

- ✓ **Método de Predicción de Propagación:** Se deberá calcular el desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples. Será imprescindible recalcular el *Factor Geoclimático*, para ello se partirá de los datos de desvanecimiento de la zona en la que está ubicado el radioenlace. Se tendrán en cuenta las siguientes variables:
  - **Variable Climática pL:** porcentaje de tiempo en el que el gradiente de refractividad en los 100m más bajos de la atmósfera es menor que  $-100$  unidades N/km durante el mes más desfavorable medio estimado (19).
  - **Ubicación del Radioenlace:** dependerá de si enlace es de interior o de costa. Elegiremos las siguientes opciones:

Ilustración 48. Ubicación del Radioenlace

**Path Type** dependerá del tipo de terreno sobre el que se diseñe el radioenlace.

**Link Location** dependerá del lugar en el que esté ubicado. Habrá dos opciones:

- *Inland* → Interior de la Península.

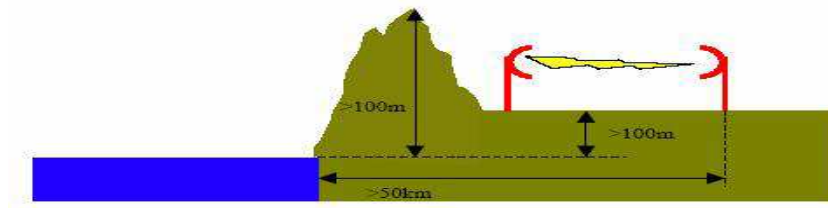


Ilustración 49. Link Location Inland

- *Coastal over/near large water bodies* → Zonas costeras.

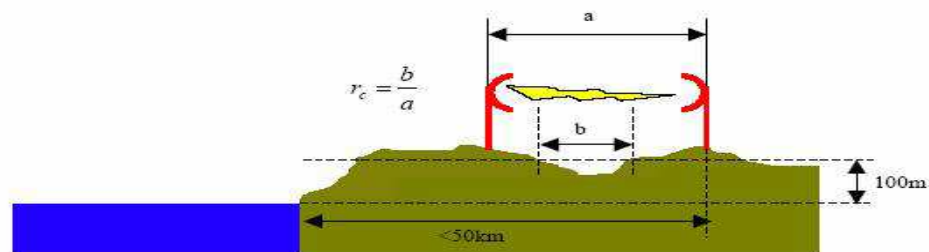


Ilustración 50. Link Coastal

- **Fraction of path profile (coeficiente rc)** es la fracción del perfil de trayecto cuya altitud por encima del nivel medio de la masa de agua en cuestión es inferior a 100 m y se encuentra dentro de una distancia de 50 km con respecto a su costa sin que exista un terreno con una elevación superior a 100 m que se interponga entre el trayecto y la costa (20).
- **Disponibilidad del vano:** Con la información completada hasta ahora ya podremos comprobar los valores de indisponibilidad por lluvia y el valor de SESR en el mes peor. Para ello, introduciremos el valor objetivo de disponibilidad del vano en la pestaña Target Objective.

Target Objective	ADM Statistics
Objective: 99.9999 %	
Rain FFM Req'd: 40.41 dB	wr Req'd: 34.11 dBm
Multipath CFM Req'd: 0.00 dB	wr Req'd: -6.30 dBm

Ilustración 51. Disponibilidad del vano.

Una vez introducido, comprobaremos los siguientes parámetros.

- ✓ **Disponibilidad del Vano:** los criterios de disponibilidad de un vano se especifican en función de la recomendación *UIT-R F.1493 Objetivos de disponibilidad para radioenlaces digitales reales que forman parte del tramo nacional de un trayecto digital a velocidad binaria constante que funciona a la velocidad primaria o a velocidades superiores*. Los umbrales de disponibilidad fijados son:

- Indisponibilidad por lluvia inferior al 0.006% en anillos de microondas. Se permitirá en un único tramo del anillo un objetivo de indisponibilidad inferior al 0.013% en caso de imposibilidad de instalar parábolas de mayor tamaño.
- Indisponibilidad por lluvia inferior al 0.005% en topologías en estrella.
- Indisponibilidad por lluvia inferior al 0.005% en cada uno de los vanos de una cadena de microondas en cadenas urbanas y cadenas rurales de menos de cuatro saltos.
- Indisponibilidad por lluvia inferior en cada uno de los vanos de una cadena de microondas en zonas rurales siguiendo el siguiente patrón:

Indisponibilidad por lluvia menor del 0.002% en los dos primeros saltos.

Indisponibilidad por lluvia menor del 0.007% en el resto primeros saltos.

Máximo siete saltos.

- ✓ **SES por vano:** que es el ratio de errores con errores. La ITU establece que el SES objetivo debe ser 0.015% en el peor mes. En segundos, son 389 SES/peor mes y deben estar repartidos en todos los vanos de la cadena.

Two Way		Unavailability: WM Annual		Outage: WM Annual		View All Modulations	
Unavailability:		(100 - %)	(%)			(sec)	
Rain		99.999428	0.0006			180.39	
Outage:		(100 - %)	(%)			(sec)	
Flat Multipath		99.999999	0.0000			0.02	
Selective		99.999999	0.0000			0.00	
Total Outage		99.999999	0.0000			0.02	

Ilustración 52. SES



- **Análisis de Interferencias:** Por último seleccionaremos el canal de frecuencia adecuado. Para ello realizaremos un análisis de interferencias. A través de la Opción Main Engineering > Interference.

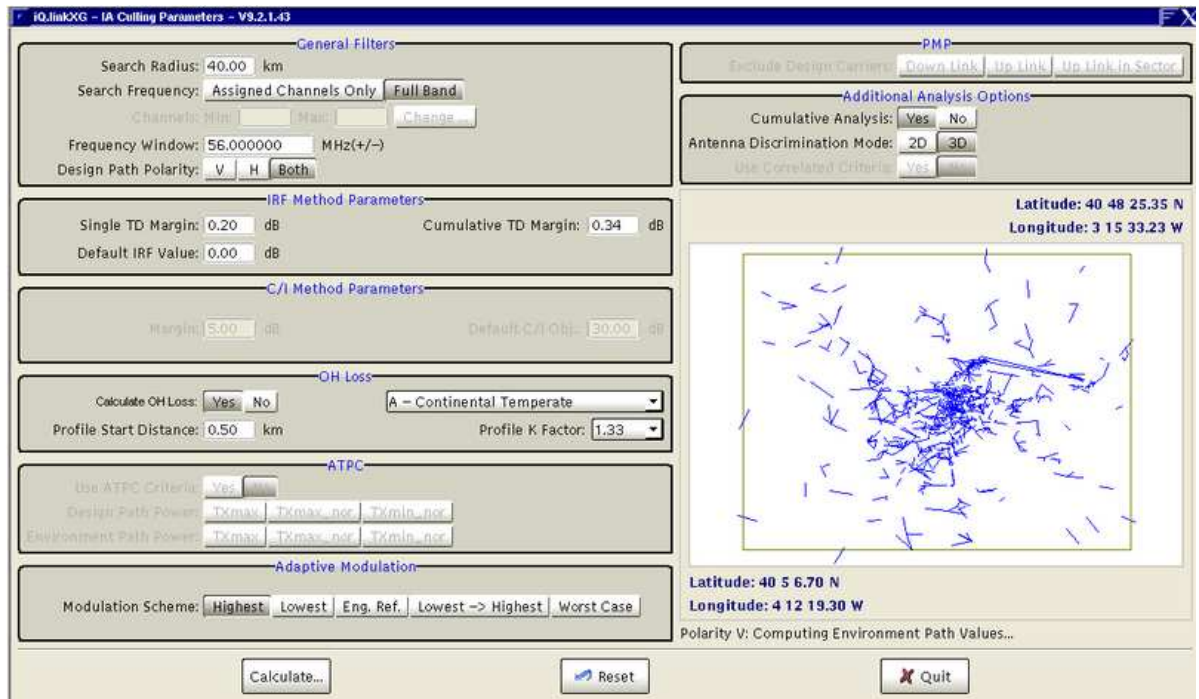


Ilustración 53. Análisis de Interferencias. Pantalla Principal.

### ✓ Radio de Análisis y Selección de frecuencias:



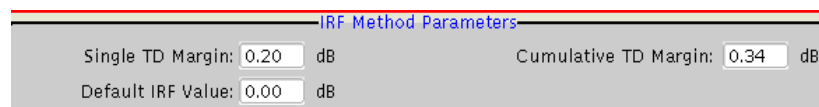
Ilustración 54. Radio de análisis & Selección de frecuencias

El radio de análisis se seleccionará en función de la frecuencia utilizada:

- 40 km en bandas de frecuencia entre 38-26Ghz.
- 60 km en bandas de frecuencia entre 18-15Ghz.
- 80 km en bandas de frecuencia entre 13Ghz.
- 120 km en bandas de frecuencia entre 7-6Ghz.

Para la búsqueda de frecuencias, seleccionaremos *Full Band* para calcular todos los canales disponibles y seleccionar el mejor caso. La opción *Assigned Channels Only* sólo aplicará cuando se cambie algún equipo de un radioenlace existente (atenuadores, protección 1+1, etc).

Las interferencias se calculan con el método de cálculo IRF, que calcula las interferencias de manera que muestra la influencia que ejercen otros vanos sobre el que se está diseñando y viceversa.



IRF Method Parameters	
Single TD Margin:	0.20 dB
Cumulative TD Margin:	0.34 dB
Default IRF Value:	0.00 dB

Ilustración 55. Parámetros IRF

**Single TD Margin/ Cumulative TD Margin** son valores establecidos por defecto, aunque se podrán cambiar manualmente. Establecen el umbral de interferencias que se mostrarán tras el cálculo.

Los valores de interferencias permitidos serán de 1 dB para las bandas de frecuencia de 26 y 38GHz y 3 dB para el resto de bandas.

- ✓ **Detalle de Interferencias:** En el detalle de interferencias aparecerán todos los canales de frecuencia disponibles y las interferencias detectadas. Cada canal se podrá analizar individualmente de manera que se podrá elegir el canal que menos interferencia tenga.

**Design Path Details**

Site ID / Location ID:	<b>COLINA</b>	<b>UBEDILLA</b>
Site Name:		
Latitude Longitude:	38-10-51.0N 0-52-7.0W	38-08-27.1N 0-58-46.1W
UTM Zone: N E:	30: 4228026.1 686680.1	30: 4223372.7 677065.9
Gnd Elev & Length:	17.00 m 10.68 km	72.00 m
Path Azimuth:	245.49°	65.42°
Radio Model:	<b>RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2</b>	<b>RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2</b>
Modulation:	256QAM	256QAM
Capacity / BW:	183 Mb/sec / 28.00 MHz	183 Mb/sec / 28.00 MHz
Power:	17.50 dBm	17.50 dBm
Channel Number:	NIL	NIL
Frequency:	N/A	N/A
Antenna Model:	<b>VHLPX2.5-13 DP</b>	<b>VHLPX2.5-13 DP</b>
Antenna Height:	22.00 mAGL	0.00 mAGL
Antenna Coordinate:	38-10-51.0N 0-52-7.0W	38-08-27.1N 0-58-46.1W
	30: 4228026.1 686680.1	30: 4223372.7 677065.9
Waveguide Loss:	0.00 dB	0.00 dB
Free Space / Abs. Loss:	135.30 dB / 0.20 dB	
Receive Signal Level:	-41.20 dBm	-41.20 dBm
Threshold:	-67.50 dBm	-67.50 dBm

**Channel Summary**

Channel Number	Number of Cases	Number of Paths
1 DE2	0	0
2 DE5	7	4
3 DG1	7	4
4 DE6	5	3
5 DG2	5	3
6 RTV7	1	1

Channel Number	Number of Cases	Number of Paths
1 DE2	0	0
2 DE5	6	3
3 DG1	6	3
4 DE6	3	2
5 DG2	3	2
6 RTV7	1	1

Channel Polarity: **Vertical** Frequency Assignment: **Default** **Unpaired**

☐ Preferred Channel(s) Only

Assign Frequency Case Details... Cancel

Ilustración 56. Detalle Análisis Interferencia (I/II)

**Environment Path Details**

Site ID / Location ID:	<b>COLINA</b>	<b>UBEDILLA</b>
Site Name:		
Latitude Longitude:	36-51-18.2N 2-26-14.4W	36-50-21.1N 2-27-20.4W
UTM Zone: North East:	30: 4078941.1 550159.0	30: 4077173.1 548533.8
Gnd Elev & Length:	70.00 m 2.40 km	19.00 m
Path Azimuth:	222.93°	42.92°
Radio Model:	<b>TN 38G 75x2 128QAM-RAU2 X</b>	<b>TN 38G 75x2 128QAM-RAU2 X</b>
Modulation:	128QAM	128QAM
Capacity / BW:	75x2 Mb/sec / 28.00 MHz	75x2 Mb/sec / 28.00 MHz
Power:	12.00 dBm	12.00 dBm
Channel Number:	D25	D25
Frequency:	39004.00V MHz	37744.00V MHz
Antenna Model:	<b>UKY 210 75/SC15</b>	<b>UKY 210 75/SC15</b>
Antenna Height:	35.00 mAGL	25.00 mAGL
Antenna Coordinate:	36-51-18.2N 2-26-14.4W	36-50-21.1N 2-27-20.4W
	30: 4078941.1 550159.0	30: 4077173.1 548533.8
Waveguide Loss:	0.00 dB	0.00 dB
Free Space / Abs. Loss:	131.66 dB/0.26 dB	
Receive Signal Level:	-39.91 dBm	-39.91 dBm
Threshold:	-67.00 dBm	-67.00 dBm

**Calculation Results**

Interference Calculation	Radio Modulation	OH Loss (dB)	FSPL (dB)	Int Level (dBm)	S. TD Calc (dB)	S. TD Obj (dB)	C. TD Calc (dB)	C. TD Obj (dB)
Profile A->D	(16TCM)->(128QAM)	0.00	131.66	-84.98	8.77	1.00	8.77	3.00
Profile D->A	(128QAM)->(16TCM)	0.00	131.66	-84.09	7.72	1.00	7.72	3.00
Profile B->C	(16TCM)->(128QAM)	0.00	125.11	-78.59	14.69	1.00	14.69	3.00
Profile C->B	(128QAM)->(16TCM)	0.00	125.11	-77.70	13.50	1.00	13.50	3.00

Next Path Prev. Path Next Channel Prev. Channel Cum. Details Quit

Design Channel A: B49/38997.00 B: B49/37737.00 Interfering Path 1 of 1 AND7820M Confirmed 01-JUL-2010

**Site A**  
TORRE DE RADIO SER.  
36 51 18.20 N / 2 26 14.40 W  
30: 4078941.1 550159.0  
Discrimination Angle: 342.69°

**Site B**  
CARMEN

**Site C**  
TORRE DE RADIO SER.  
36 51 18.20 N / 2 26 14.40 W  
30: 4078941.1 550159.0  
Discrimination Angle: 17.31°

**Site D**  
RUIBARBO

Ilustración 57. Detalle Análisis Interferencia (II/II)

Los parámetros que se deberán comprobar son:

- S. TD Calc: degradación en este caso.
- S. TD Obj: Umbral de degradación objetivo (1 dB).
- C. TD Calc: Umbral de degradación acumulativo del enlace que estamos diseñando y cómo influye en el resto de enlaces.
- C. TD Obj: Umbral de degradación acumulativo (3 dB).

Para comprobar la degradación total acumulada presionaremos *Cum Details* donde se mostrará todos los vanos interferentes, la señal interferente recibida y la degradación acumulada por site.

Por últimos, comprobaremos que no se exceden los valores de degradación y seleccionaremos el canal adecuado en la pestaña *Analisis* a través del botón *Assign Frequency*.

Una vez finalizada toda la ampliación, deberá quedar documentada en las BBDD correspondientes para que se puedan diseñar las migraciones de tráfico.

### 5.2.2 Ampliación Anillo FO

Los anillos de FO los suministra la empresa Alcatel Lucent<sup>22</sup>. Para realizar el diseño de la ampliación de un anillo de Fibra, la empresa suministradora deberá presentar un proyecto de transmisión. En él se detallará la información de las necesidades de transmisión. En este apartado se detallará el proceso de consulta que se debe seguir a la hora de lanzar una ampliación de anillo de fibra.

Actualmente tenemos un anillo con una capacidad de 450Mbps formado por tres tramas de 155 Mbps (3 tramas de STM-1s dentro de un STM-16):

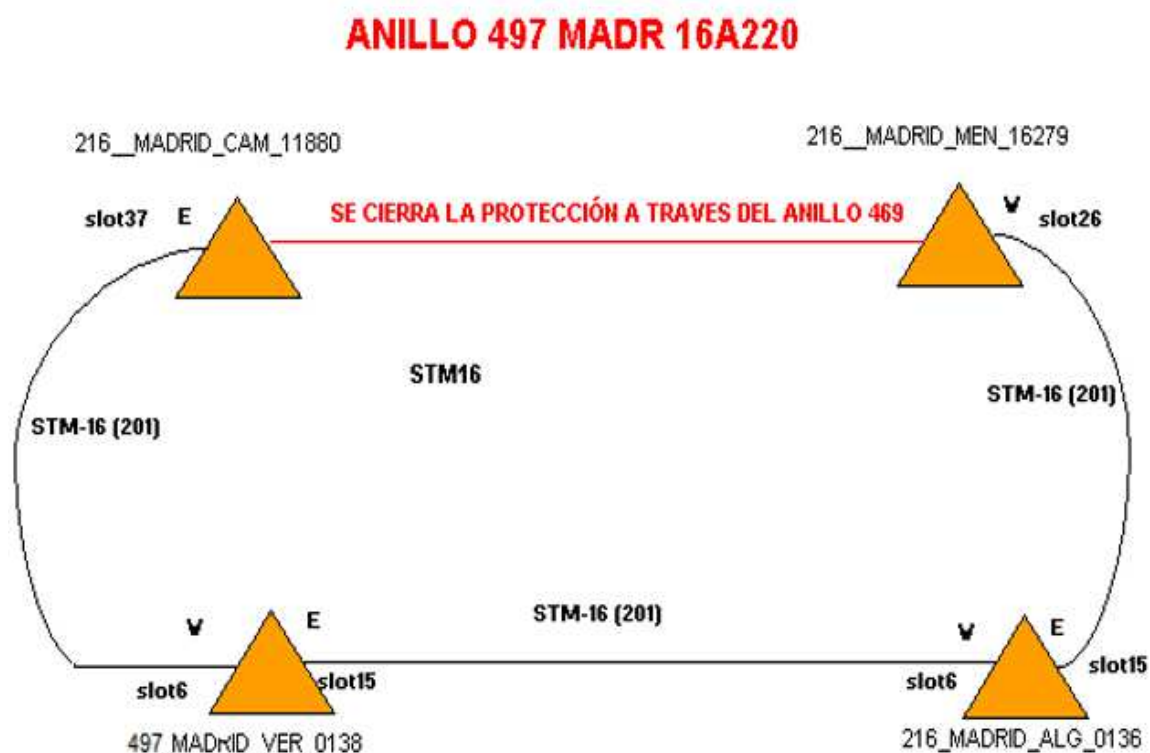


Ilustración 58. Anillo Fibra a Ampliar

Para ampliar el anillo a 1Gbps tendremos que comprobar si tenemos espacio en el STM-16 para llegar hasta 7 VC4s. Para ello comprobamos la información de la matriz de los anillos en las BBDD:

<sup>22</sup> Véase el Anexo Equipos ALU Anillos FO donde se detallan los tipos de equipos.

		216	E	W	216	E	W	216	E	W	216
		MADRID			MADRID			MADRID			MADRID
		CAM			VER			ALG			MEN
		118			01			01			162
OCUPACION		80			38			36			79
1	OMNIBUS	1	AU4#1 MADCAM_MADVER_i002		1	AU4#1 MADVER_MADALG_i002		1	AU4#1 MADMEN_MADALG_i002		1
2	OMNIBUS	1	AU4#2 MADCAM_MADVER_i001		1	AU4#2 MADVER_MADALG_i001		1	AU4#2 MADMEN_MADALG_i001		1
3	MAD/CAM-MAD/ALG	1	AU4#2 MADCAM_MADALG_i001			AU4#2 MADCAM_MADALG_i001		1			
4	OMNIBUS	1	AU4#1 MADCAM_MADVER_i00x		1	AU4#1 MADVER_MADALG_i00x		1	AU4#1 MADMEN_MADALG_i00x		1
5	LIBRE										
6	LIBRE										
7	LIBRE										
8	LIBRE										
9	LIBRE										
10	LIBRE										
11	LIBRE										
12	LIBRE										
13	LIBRE										
14	LIBRE										
15	LIBRE										
16	LIBRE										

Ilustración 59. Matriz Ocupación Anillo FO

Como se puede observar, tenemos capacidad disponible para ampliar la capacidad del anillo a 1Gbps. Se anotará la reserva en la matriz y se lanzará el pedido a ALU con el diseño final del anillo a 1Gbps. El diseño incluirá la documentación en BBDD para que se puedan diseñar las migraciones de tráfico.

### 5.3 Migración de Tráfico

Una vez realizadas las ampliaciones necesarias de la red, pasamos a la migración de tráfico de la transmisión actual a la transmisión ampliada. Siempre que tengamos nueva transmisión, la migración de tráfico será completa, como en el caso de PMW. En el caso de tener ampliada una parte de la ruta la migración será parcial, como en el caso del anillo de FO. La migración en ambos casos sigue las mismas pautas. A continuación se definirá el Plan de Actuación para la Migración del tráfico de acceso de las estaciones que pasan por el enlace ampliado.

### 5.3.1 Comparativa Topología Actual y Topología futura

En primer lugar, se deberá modificar el enrutamiento de todas las estaciones que anteriormente iban por el vano ampliado. Para ello, buscaremos toda la información en las BBDD y gestores elaborando un documento con los enrutamientos actuales y futuros. Este paso es muy importante, ya que si se produce algún error durante la migración se deberá volver a la situación anterior. A continuación, mostraremos el ejemplo de migración del PMW LX5687PM, cuyo nuevo código será LX6314PM, por el que pasan las estaciones 2807402, 2807407 y 2807410.

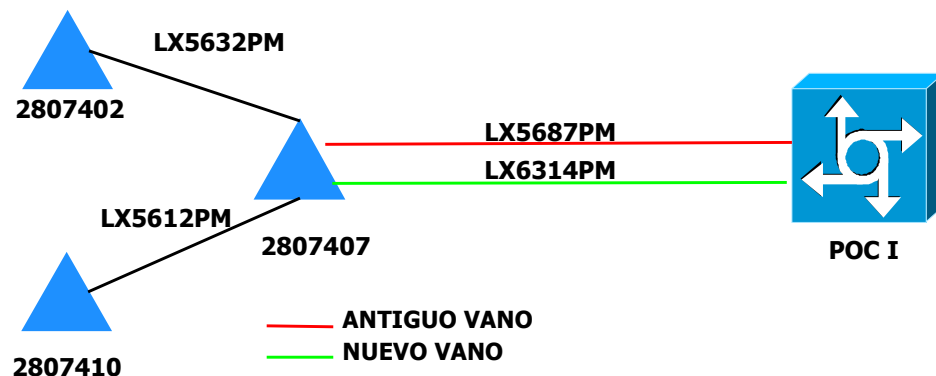


Ilustración 60. Topología Acceso Migración PMW

- Enrutamiento 2870402

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807402	POC I	LX5632PM	2807402	2	4	2807407	2	6
2	2807402	POC I	LX5687PM	2807407	4	1	POC I	5	1

Tabla 12. Ruta Presente 2870402

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807402	POC I	LX5632PM	2807402	2	4	2807407	2	6
2	2807402	POC I	LX6314PM	2807407	5	1	POC I	5	6

Tabla 13. Ruta Futura 2870402

- **Enrutamiento 2807407**

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807407	POC I	LX5687PM	2807407	4	1	POC I	5	1

Tabla 14. . Ruta Presente 2870407

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807407	POC I	LX6314M	2807407	5	1	POC I	5	6

Tabla 15. . Ruta Futura 2870407

- **Enrutamiento 2807410**

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807410	POC I	LX5632PM	2807410	2	7	2807407	2	5
2	2807410	POC I	LX5687PM	2807407	4	1	POC I	5	1

Tabla 16. Ruta Presente 2807410

Tránsito	Origen	Destino	Tramo	Nodo Origen Tramo	Slot Origen Tramo	Puerto Origen Tramo	Nodo Destino Tramo	Slot Destino Tramo	Puerto Destino Tramo
1	2807410	POC I	LX5632PM	2807410	2	7	2807407	2	5
2	2807410	POC I	LX6314PM	2807407	5	1	POC I	5	6

Tabla 17. Ruta Futura 2870410

### 5.3.2 Trabajos previos

Antes de realizar la migración, se deberán dejar concluidos todos los trabajos previos. A continuación se especifican:

- Diseño vano en IQ-LINK
- Actualización Enrutamientos en BBDD.
- Permisos de instalación y acceso a los emplazamientos.
- Instalación en paralelo nuevo vano ampliado.
- Upgrade release en ambos extremos del vano (2807407 y POC I).
- Solicitud Trabajo Programado para corte de tráfico.



### 5.3.3 Ejecución de la Migración

El trabajo se deberá realizar en horario nocturno, cuando el corte de tráfico tenga el menor impacto. Una vez realizado, se monitorizará el tráfico durante 72 horas. Si los KPIs están dentro de los valores anteriores se dará la migración por válida.

### 5.3.4 Post Mortem

Tras la migración de tráfico y aceptación de KPIs se procederá a limpiar la transmisión anterior, realizando los siguientes pasos:

- Desmontaje vano antiguo en ambos extremos.
- Borrado en BBDD.
- Borrado en Gestores.

## 5.4 Activación Nodo LTE

Cuando la red está preparada se procede a la activación del nodo LTE. Con todos los elementos de la red disponibles, este es el paso más sencillo pudiéndose realizar en remoto tras la adecuación de la red.

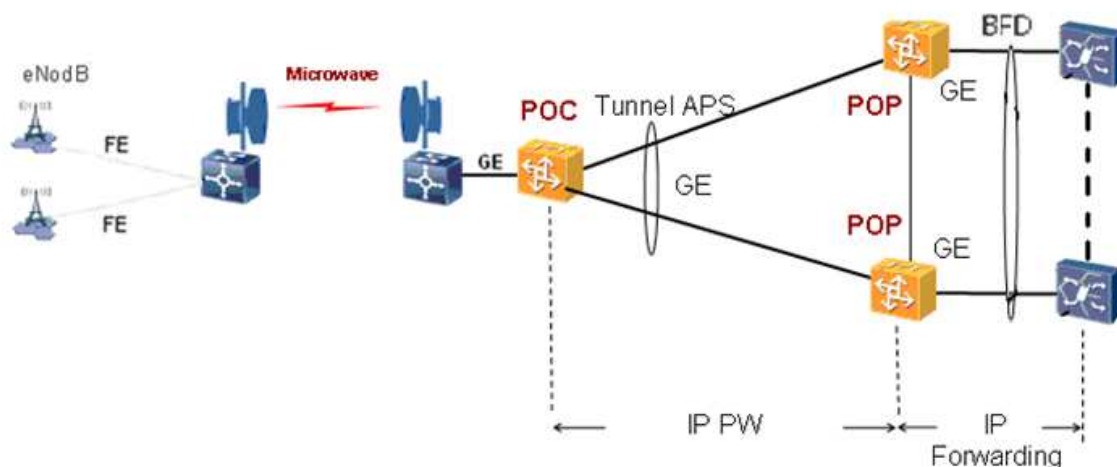


Ilustración 61. Esquema Red Adecuada LTE.

Lo más importante de esta fase es la creación de los servicios para LTE. Se crearán tres tipos de servicios:

- **S1/X2** que se configurará en una nueva VRF (VRF LTE) y se deberá crear todos los PTN cabecera conectados directamente con los routers del BBIP.
- **O&M** que se configurará en la VRF existente (VRF All) en los PTNs cabecera.
- **NTP** que, al igual que el caso anterior, que se configurará en la VRF existente (VRF All) en los PTNs cabecera.

Antes de la carga de los servicios se deberá comprobar que no hay alarmas en los equipos involucrados. En caso de que existan alarmas, se deberán eliminar y se cancelará la carga.

Después de cargar los servicios, se realizarán unas pruebas basadas en el traceo de rutas desde los gestores a distintas subredes. Se asignarán las subredes correspondientes a cada emplazamiento como se especifica a continuación del nodo 2807407:

Código	S1/X2 IP Subnet/30	IP S1/X2 eNodeB	IP S1/X2 PTN
2807407	10.39.0.0	10.39.0.2	10.39.0.1

Tabla 18. Subred S1/X2

Código	NTP IP Subnet/30	IP NTP eNodeB	IP NTP PTN
2807407	10.9.128.0	10.39.128.2	10.39.28.1

Tabla 19. Subred NTP

Código	O&M IP Subnet/30	IP O&M eNodeB	IP O&M PTN
2807407	10.24.8.0	10.24.8.2	10.24.8.1

Tabla 20. Subred O&M

Lanzaremos un *traceroute* a la dirección de gestión de los PTNs desde los gestores y a las subredes correspondientes para los tres servicios descritos anteriormente. Si son alcanzables desde los gestores daremos el proceso por finalizado. En caso de problemas de conectividad se deberán realizar las siguientes comprobaciones:

- Revisión del diseño E2E
- Comprobación de alarmas en los equipos implicados

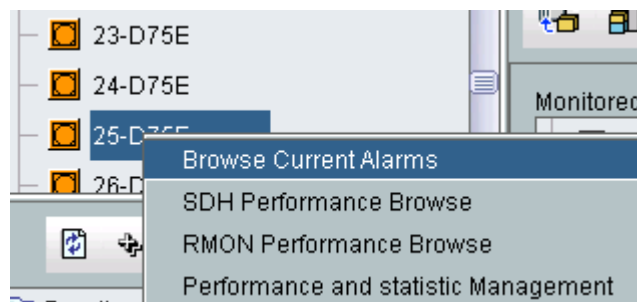


Ilustración 62. Comprobación de Alarmas

- Revisión de las configuraciones realizadas en los recursos físicos, lógicos y en las asignaciones de IPs.
- Comprobación de la ruta de los PTNs a través de la opción Test&Check de la VRF correspondiente.

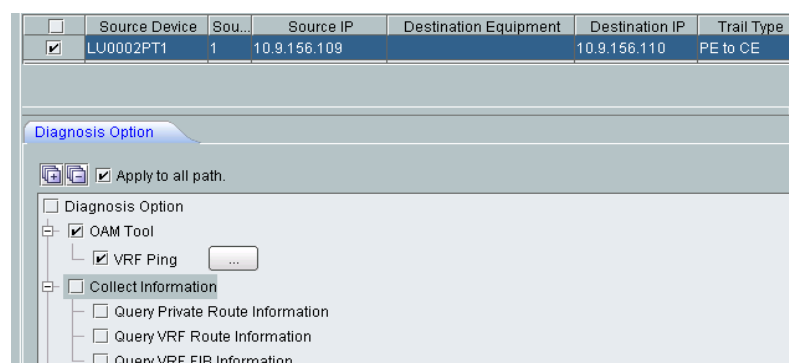


Ilustración 63. Test & Check

- Comprobación Scripts cargados en los equipos.

- Si el error persiste, se deberá dar marcha atrás a la activación y se revisará la instalación de los equipos en campo.

Tras la activación del nodo, se pasará a las medidas que se definirán en la Fase de Entrega.

# Capítulo 6

## Fase de Entrega

### 6.1 Medidas Drive Test

Una vez activado el nodo, se deberá comprobar que los niveles de cobertura del área a provisionar están dentro de los niveles acordados.

Para realizar estas medidas nos basaremos en mediciones de señal en el medio de acción de las estaciones base activadas con LTE. Se hará un recorrido con un vehículo por todas las calles que cubren los sectores activadas con los siguientes equipos:

- Móvil LTE o modem USB en 4G.
- Scanner conectado con una Antena y GPS.
- Portátil con el software indicado para el equipo de medidas (TEMS, Genex Probe, etc.)

El proceso de medidas es sencillo, se resume en los siguientes pasos:

- Se conectan los equipos al ordenador portátil y se configuran los puertos de conexión.
- El software del programa irá realizando llamadas de un intervalo diferente.
- El programa va almacenando la posición del GPS y el resultado de la señal en un archivo .log que luego se volcará y será analizado por el Ingeniero correspondiente.

Cuando se han realizado todas las medidas, analizaremos los resultados prestando atención a los siguientes parámetros:

- **RSRP** (Del inglés, Reference Signal Received Power), es la intensidad de la señal recibida a nivel de celda. El RSRP debe ser mayor o igual a -110 dBm para considerar aceptable el nivel de la señal. En caso de no llegar a este valor realizarán cambios en la parametrización de las celdas. Los resultados se pueden mostrar en una tabla o en un mapa con el recorrido del Drive Test.



Ilustración 64. Drive Test 280747

- **SINR** (Del inglés, Signal to Interference and Noise Ratio), es la relación señal a ruido más interferencia.

$$SINR = \frac{S}{I + N} = \frac{S}{\gamma_{\max} + N} = \frac{1}{\frac{\gamma}{SIR_{\min}} + \frac{1}{SNR}}$$

Ecuación 1. SINR en función SNR

Dónde:

- S es la potencia de señal recibida.
- I es la potencia de interferencia.
- N es la potencia del ruido.
- $\gamma$  es el factor de interferencia, debe estar entre 0 y 1.
- SIR depende de la configuración geométrica de la antena.
- $SIR_{\min}$  tiene valores entre 0 y 4.

La relación entre SNR y SINR se puede observar en la siguiente gráfica.

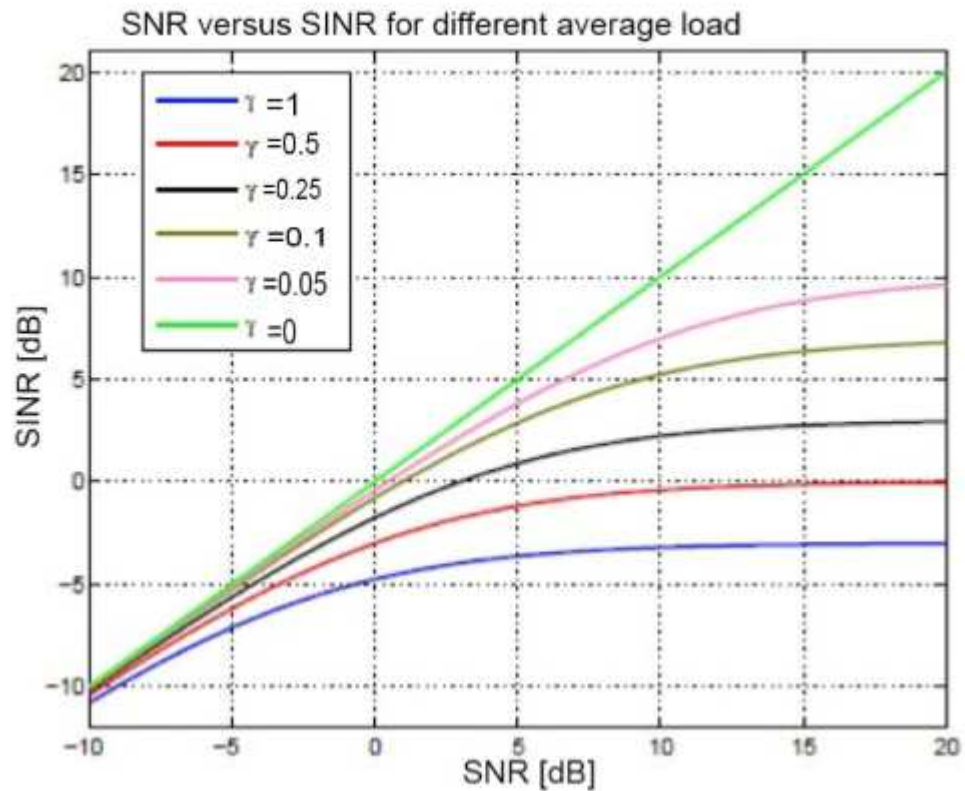


Ilustración 65. Relación SINR y SNR.

El resultado de la medición de SINR se mostrará en función de la distancia, obteniéndose una gráfica como la que se muestra a continuación:

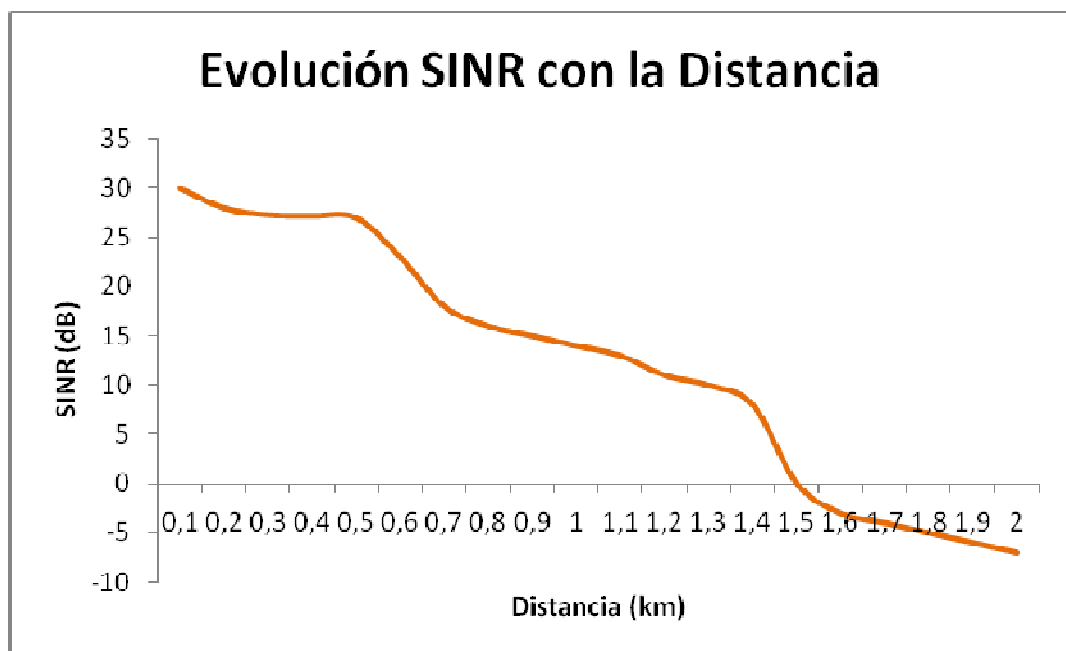


Ilustración 66. SINR con Distancia.



## 6.2 Medidas Transmisión

Por último, deberemos comprobar que los valores de transmisión se mantienen dentro de los umbrales necesarios, es decir, que la activación de un nodo LTE no ha impactado negativamente en la red. Para ello monitorizaremos los interfaces de agregación del POC I los días posteriores a la activación de los nodos.

Como se ve en la Gráfica 67, los valores a ambas patas del anillo de FO están por debajo del 70% en los días posteriores a la activación de LTE en el Anillo. Por lo que la activación se puede dar por válida y aceptada.

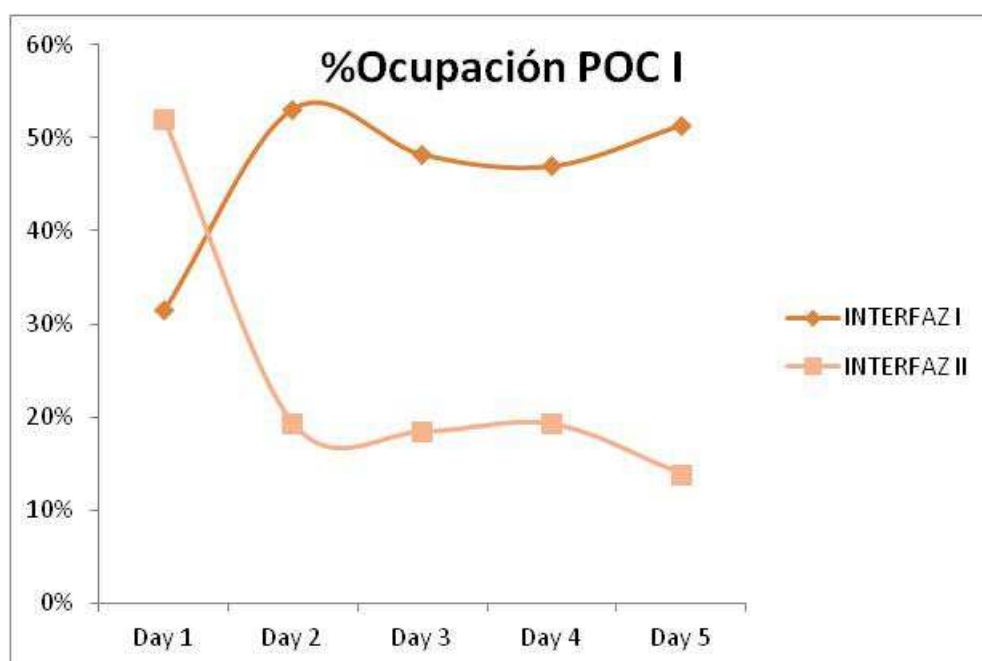


Ilustración 67. Ocupación POC I

### 6.3 Costes Finales

Además de los costes indicados en el PDR, se deberá sumar todo el despliegue de equipos LTE, así como licencias de adecuación y permisos de obra que habrá que solicitar a las distintas entidades. El coste total del proyecto se resume en la siguiente tabla:

	Concepto	Unidades	MC (k€)	Total (k€)
Adecuación Red Existente - PDR	Ampliación PMW	20	10,45	209,02
	Ampliación FTTN	8	11,57	92,57
	SSPP Acceso	23	2,76	63,59
	Nuevas Tarjetas PTNs Acceso	19	2,92	55,52
	Ampliar Anillo	1	127,89	127,89
	SSPP Agregación	1	3,98	3,98
	Nuevas Tarjetas PTNs Agregación	2	7,14	14,29
Ingeniería	Equipos LTE	27	1,20	32,40
	Instalación Equipos	27	3,00	81,00
	Obra Civil	27	25,00	675,00
	Licencias Obra	27	5,00	135,00
				<b>1490,25803</b>

Tabla 21. Coste Total Despliegue LTE Leganés.

Se deberá tener en cuenta que se incurrirá en un gasto en OPEX anual debido a la adecuación de la red.

## Conclusiones y Trabajos Futuros

El objetivo de este proyecto ha sido plasmar de la forma más fiel el proceso seguido en un proyecto a la hora de desplegar una nueva tecnología en un Municipio de la Comunidad de Madrid.

El número de estaciones desplegadas en Leganés así como su topología de red nos da una idea de un despliegue que se podría extender al resto de la península ibérica, excluimos las islas ya que la orografía del terreno y sus condiciones climáticas lo harían diferente.

Desplegar LTE en un Municipio no es fácil, la gran cantidad de antenas instaladas, con el consiguiente impacto en interferencias, los problemas con muchos ayuntamientos a la hora de validar las estaciones, hay ubicaciones en las que el único punto que puede proveer cobertura a un área necesita gran desembolso de adecuaciones para mimetizar las antenas y la histeria que todavía tienen comunidades de vecinos hacen que haya momentos difíciles en los que la puesta en servicio de una estación penda de un hilo. A esto debemos sumar la presión de cumplir una planificación y el esfuerzo por intentar dar las mejores soluciones de transmisión para que los clientes tengan la mejor red posible y no cambien de operador.

Afortunadamente, la presión y el trabajo contrarreloj que se manifiesta en este tipo de trabajos hace que los equipos estén unidos para trabajar en un fin común, sacar el proyecto adelante.

En la línea de lo descrito, el siguiente paso será completar LTE en toda España y seguir trabajando para seguir dando a la red todas las actualizaciones necesarias para estar al día e ir de la mano con las nuevas tecnologías.

# Acrónimos

## 0-9

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

## A

AI: Air Interface

AMPS: Advanced Mobile Phone System

AMR: Adaptative Multirate Codec

ASPIR: Acuerdo de Suministro Provisional de Infraestructura de Red

## B

BBIP: Backbone IP

BC: Business Case

BSS: Base Station Subsystem

BTS: Base Transceiver Station

## C

CDMA: Code Division Multiple Access

CMT: Comisión Mercado de las Telecomunicaciones

CS: Circuit Switched

CS FallBack: Circuit Switch Fallback

CTNE: Compañía Telefónica Nacional de España

## D

DCS: Digital Celular System

## E

E2E: End to End

EB/BS: Estación Base/Base Station

eNodeB: Envolved Node B

EPC: Envolved Packet Core

eRAN: Envolved Radio Access Network

ERPS: Ethernet Ring Protection Switching

eUTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

## F

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FM: First Mile

FOA: First On Air

FTTN: Fiber To The Node

FYE: Full Year Equivalent

## G

GPRS: General Packet Radio System

GSM: Global System for Mobile Communications

## H

HLD: High Level Design

HLR: Home Location Register

HSS: Home Subscription Server

**I**

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IMS: Subsistema IP Multimedia

IP: Internet Protocol

**K**

KPI: Key Performance Indicator

**L**

LLD: Low Level Design

LOS: Line Of Sight

LTE: Long Term Evolution

**M**

MC: Módulo de Coste

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MM: Middle Mile

MME: Mobility Management Entity

MS: Mobile Station

MSC: Mobile Switching Central

**N**

NMT: Nordic Mobile Telephone

NSS: Network Subsystem

**O**

OMC: Operations and Maintenance Center

OMV: Operador Móvil Virtual

**P**

PCRF: Policy and Charging Resource Function

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

PDR: Plan de Red

PLMN: public land mobile network

PMW: Packet Microwave

PS: Packet Switched

**Q**

QoS: Quality Of Service

**R**

RFQ: Request for Quotation

RNC: Radio Network Controller

RNS: Radio Network Subsystem

RRM: Radio Resource Management

RSRP: Reference Signal Received Power

RSU: Remote Switching User

**S**

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SFH: Slow Frequency Hopping

SGSN: GGSN

S-GW: Serving Gateways

SIM: Subscriber Identity Module

SINR: Signal to Interference and Noise Ratio

SMS: Short Message Service

SSPP: Servicios Profesionales

## **T**

TACS: Total Access Communication System

TAV: Teléfono Automático Vehículos

TDMA: Time Division Multiple Access

TP: Trabajo Programado

TSG GERAN: Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network

## **U**

UE: User Equipment

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

USIM: Universal Integrated Circuit Card

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network

## **V**

VLR: Visitor Location Register

VoIP: IMS basado en Voz sobre IP



# Anexos

## 7.1 Evolución Estándar UMTS

En los siguientes apartados se resumen las características aportadas en los estándares que se desarrollaron tras la aparición del UMTS (Release 99) a principios del año 2000 hasta la llegada de la tecnología LTE (Release 8 ó 3.9G).

### 7.1.1 Release 4

Publicado en Marzo de 2001. Su aparición supuso mejoras sobre el Release 99 comenzando los primeros pasos en el envío de tráfico por IP.

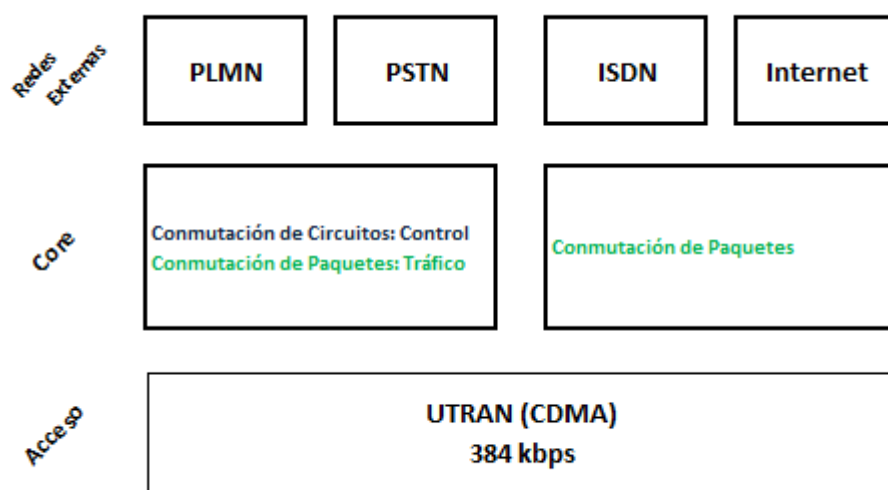


Ilustración 68. UMTS Release 4



### 7.1.2 Release 5

Publicado en Marzo de 2002. Se introduce la primera fase del **Subsistema IMS** (Del inglés, IP Multimedia Subsystem) cuyo objetivo será conseguir la transmisión eficiente sobre IP de contenidos multimedia. Al tener servicios asimétricos en cuanto a la velocidad de acceso, la red UTRAN debe ganar capacidad en el interfaz aire en el *dowlink*<sup>23</sup>. Por ello y para gestionar los altos picos de tráfico de los usuarios, aparece **HSDPA** (Del inglés, High Speed Downlink Packet Access). Dentro de las bases de datos que coexisten en el núcleo de red, aparece el **HDS** (Del inglés, Home Subscriber Server), que contendrá toda la información del HLR, el AUC y el IMS. La conmutación de circuitos sigue existiendo pero no se evoluciona.

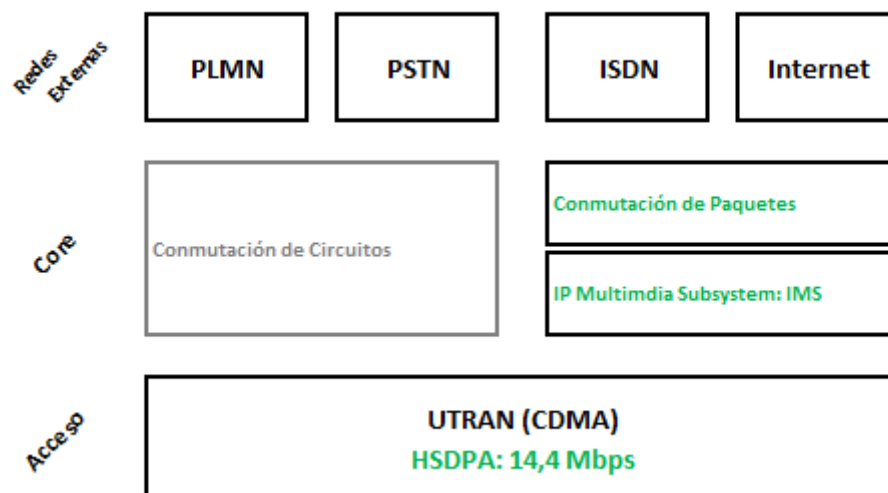


Ilustración 69. UMTS Release 5

<sup>23</sup> Aunque es un Anglicismo, se utilizará este término al ser el más extendido.

### 7.1.3 Release 6

Publicado en 2005. Se completa la segunda fase del IMS, con funcionalidades tales como, servicios de conferencia con varios participantes, mensajería basada en IMS y optimización del acceso. Se implanta el protocolo HSUPA (Del inglés, High Speed Uplink Packet Access) para mejorar el acceso en *uplink*<sup>8</sup>. Se desarrollan nuevas funcionalidades que permiten transmitir en broadcast mensajería multimedia a los usuarios de un área determinada, **MBMS** (Del Inglés, Multimedia Broadcast/Multimedia Services). Comienzo de interoperabilidad para acceder a servicio, WLAN-UMTS. La conmutación de circuitos sigue existiendo pero no se evoluciona.

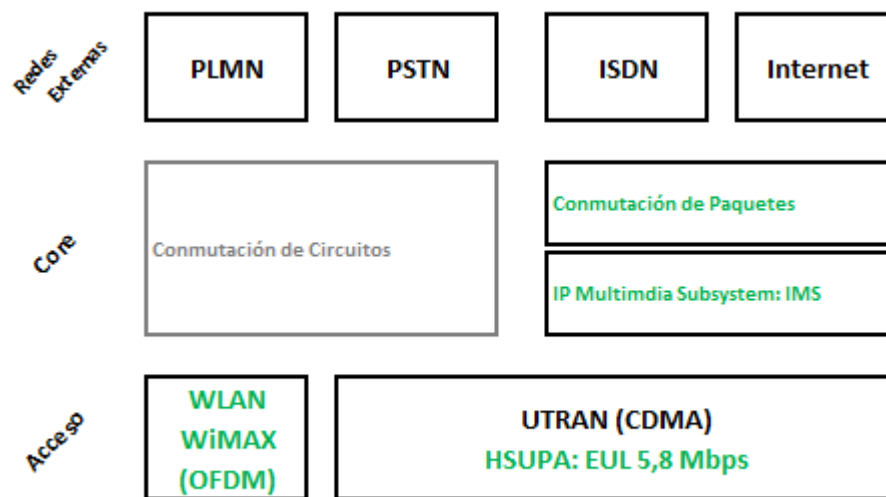


Ilustración 70. UMTS Release 6

### 7.1.4 Release 7

Publicado en 2007. Sigue desarrollando la interoperabilidad en acceso desarrollando la posibilidad de realizar *handover* entre redes WLAN y UMTS y se implantan técnicas de mejora en la red de acceso como **MIMO** (Del inglés, Multiple Input Multiple Output) y **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

**MIMO** se basa en el concepto de múltiples antenas antes de transmisión y recepción. Aprovecha la propagación por distintas vías para incrementar la tasa de transmisión y reducir así la tasa de error, permite llevar dos flujos de información en ambos sentidos. Esto conlleva una mejora de la eficiencia espectral utilizando multiplexación espacial.

La multiplexación **OFDM** se basa en la transmisión multiportadora. Distribuye las ondas portadoras en varias frecuencias con una separación determinada. Las portadoras son ortogonales entre sí evitando que haya interferencia entre ellas. Esta modulación tiene una capacidad elevada de envío simultáneo y es muy robusta en el multitrayecto e interferencias.

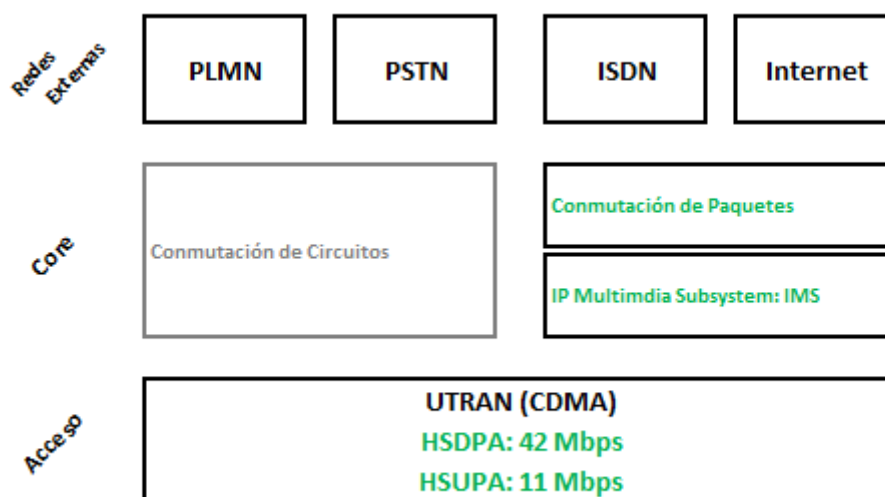


Ilustración 71. UMTS Release 7

Los siguientes estándares que se desarrollaron llevaron a lo que hoy conocemos como LTE. Estos se explican en el Apartado 2.2.5.

## 7.2 Equipos PTN

Los PTNs son equipos desarrollados por la empresa Huawei cuya función principal es agregar el tráfico de la red. En función del emplazamiento en el que se encuentren se deberá instalar un modelo u otro. Los PTNs que encontraremos en la red LTE serán de tres modelos, en función de su tamaño y funcionalidad, PTN 910, PTN 1900 y PTN 3900. En los siguientes apartados se describen sus funcionalidades.

### 7.2.1 PTN 910

Se utilizan para los emplazamientos de menor tamaño al ser los más pequeños. Agregan el tráfico de acceso y son imprescindibles para las conexiones FTTN en las sedes del Nodo B o el eNodeB. Se conectan al POC o al POP si por cercanía es más próximo.

Tiene varios tipos de interfaces, siendo las más utilizadas de tipo Fast Ethernet (100 Mbps), Giga Ethernet (1000 Mbps), E1s y STM-1 canalizado.

En la siguiente imagen se muestra el equipo:



Ilustración 72. PTN 910

### 7.2.2 PTN 1900

Se utilizan para los emplazamientos de tamaño medio. Agregan el tráfico de acceso de todas las estaciones de un área determinada y tienen una conexión directa con el POP a través de la red de agregación.

Tiene varios tipos de interfaces, siendo las más utilizadas de tipo Fast Ethernet (100 Mbps), Giga Ethernet (1000 Mbps), E1s y STM-1 canalizado, 10 Giga Ethernet (10000 Mbps). Los interfaces pueden ser ópticos o eléctricos.

En la siguiente imagen se muestra el equipo:



Ilustración 73. PTN 1900

### 7.2.3 PTN 3900

Se utilizan para los emplazamientos de mayor tamaño. A ellos llega todo el tráfico de la red de agregación y se encamina hacia la BSC, la RNC o el BBIP.

Tiene varios tipos de interfaces, siendo las más utilizadas de tipo Fast Ethernet (100 Mbps), Giga Ethernet (1000 Mbps), E1s y STM-1 canalizado, 10 Giga Ethernet (10000 Mbps). Los interfaces pueden ser ópticos o eléctricos.

En la siguiente imagen se muestra el equipo:



Ilustración 74. PTN 3900

## 7.3 Equipos PMW

Los PMW son equipos desarrollados por la empresa ALU (Alcatel Lucent) que suponen una evolución de los antiguos equipos microondas. Su principal ventaja es que ofrecen modulación adaptativa que se ajusta a las circunstancias del canal. En función del emplazamiento en el que se encuentren se deberá instalar un modelo u otro. Los PMW que encontraremos en la red LTE serán de tres modelos, MSS-1c, MSS-4 y MSS-8. En los siguientes apartados se describen sus funcionalidades (17).

### 7.3.1 MSS-0

Son los equipos más pequeños y se utilizarían para diseños interiores como, por ejemplo el Metro de Madrid. En este proyecto no se contempla el ámbito de los diseños especiales.



Ilustración 75. Equipo PMW MSS-0

### 7.3.2 MSS-1c

Son los equipos más pequeños que se utilizarán en la red y se utilizan para los puntos de interconexión de los nodos de acceso en un final de cadena. Soporta hasta dos conexiones Ethernet y en E1s.



Ilustración 76. Equipo PMW MSS-1c

### 7.3.3 MSS-4

Equipos medianos que se utilizan en los puntos concentradores o para agregar nodos de acceso que no son final de cadena. Presentes en la mayoría de las topologías en anillo. Soporta hasta seis conexiones Ethernet, 6 de cable coaxial y en E1s.



Ilustración 77. Equipo PMW MSS-4

### 7.3.4 MSS-8

Equipos grandes que se utilizan principalmente en los puntos de agregación que unen las conexiones entre el POC y el POP. Soporta hasta doce conexiones Ethernet, 18 de cable coaxial y en E1s.



Ilustración 78. Equipo PMW MSS-8

## 7.4 Equipos ALU Anillos FO

### 7.4.1 Alcatel 1660

Son equipos utilizados en anillos InterMSC (los que interconectan los grandes puntos de la red POC-POP) y son para conexiones de alta capacidad. Disponen de tarjetas con capacidades a partir de 100 Mbps hasta 10 Gbps.

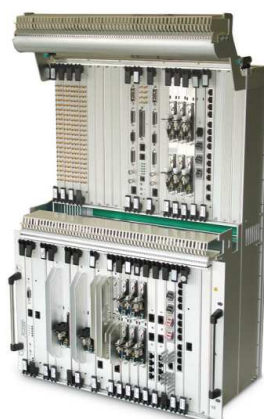


Ilustración 79. ALU 1660.



### 7.4.2 Alcatel 1662

Son equipos utilizados en acceso al disponer de tarjetas de menor capacidad y no llegar a los 10 Gbps. Suelen interconectar con otros equipos, PTNs y suelen encontrarse en las sedes donde hay un PTN 910.



Ilustración 80. ALU 1662.

## 7.5 Aplicar Factores de Crecimiento

Los factores de crecimiento de tráfico son uno de los inputs que se deben entregar al inicio del proyecto. Esos valores deben venir desagregados por tipo de tráfico. En el caso que nos ocupa, los factores de crecimiento serían:

	2015			
	Anual (%)	Mensual (%)	Semanal (%)	Q (%)
<b>Crecimiento Voz</b>	15,00	1,17	0,27	3,56
<b>Crecimiento Clientes</b>	17,00	1,32	0,30	4,00
<b>Crecimiento Tráfico LTE</b>	83,00	5,16	1,17	16,31

Tabla 22. Factores Crecimiento LTE

Una vez que tengamos este dato, podremos proyectar el tráfico utilizando las siguientes fórmulas estadísticas:

$$TráficoFuturo(Mbps) = (1 + FC)^n \times \frac{\sum_{i=1}^m TráficoCursado_m(Mbps)}{m}$$

Ecuación 2. Tráfico Proyectado

Dónde:

- FC es el factor de crecimiento indicado en la tabla en unidades naturales.
- n es el número de meses o semanas que se quiere proyectar el tráfico
- m es el número de meses o semanas de las que se promedia el tráfico

En caso de que no tengamos factores de crecimiento de todas las unidades, es decir, si nos dan el factor de crecimiento anual y queremos obtener el mensual o semanal, podremos obtenerlo a partir de las siguientes fórmulas:

$$(1 + FC_i) = (1 + FC_m)^j$$
$$FC_i = (1 + FC_m)^j - 1 \quad FC_m = (1 + FC_i)^{1/j} - 1$$

**Ecuación 3. Relación Factores de Crecimiento**

Dónde:

- Pi el factor de crecimiento de mayor magnitud (en unidades naturales).
- Pm el factor de crecimiento de menor magnitud (en unidades naturales).
- j es la equivalencia entre ambas magnitudes.

## 7.6 Índices de Intensidad por Lluvia

Los valores de intensidad por lluvia por provincia expresados en mililitros por hora se resumen en la siguiente tabla:

Provincia	Índice lluvia (mm/h)		Provincia	Índice lluvia (mm/h)
AB - ALBACETE	45		LU - LUGO	47
AX - ALICANTE	50		MX - MADRID	32
AL - ALMERIA	50		MA - MÁLAGA	54
AV - AVILA	37		MELILLA	44
BA - BADAJOZ	42		MU - MURCIA	50
BX - BARCELONA	60		OR - ORENSE	47
BI - VIZCAYA	43		OX - ASTURIAS	44
BU - BURGOS	35		PX - PALENCIA	32
CC - CACERES	39		PM - ISLAS BALEARES	60
CA - CADIZ	49		NA - PAMPLONA	43
CS - CASTELLON	60		PO - PONTEVEDRA	50
CEUTA	44		SA - SALAMANCA	32
CR - CIUDAD REAL	38		SS - GUIPÚZCOA	53
CO - CORDOBA	45		TF - TENERIFE	43
CX - CORUÑA	52		SX - CANTABRIA	46
CU - CUENCA	32		SG - SEGOVIA	32
GI - GIRONA	60		SE - SEVILLA	50
GR - GRANADA	42		SO - SORIA	32
GU - GUADALAJARA	42		TX - TARRAGONA	45
HX - HUELVA	50		TE - TERUEL	34
HU - HUESCA	60		TO - TOLEDO	32
JX - JAÉN	42		VX - VALENCIA	60
GC - GRAN CANARIA	30		VA - VALLADOLID	32
LE - LEÓN	35		VI - ÁLAVA	45
LX - LLEIDA	60		ZA - ZAMORA	32
LO - LA RIOJA	32		ZX - ZARAGOZA	36

Ilustración 81. Índices de Intensidad por Lluvia

## Bibliografía

1. **Autores, Varios.** Wikipedia. *Telefonía móvil en España*. [En línea] [http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil\\_en\\_Espa%C3%B1a](http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_en_Espa%C3%B1a).
2. **Wikipedia.** Acuerdo de Suministro Provisional de Infraestructura de Red. [En línea] [http://es.wikipedia.org/wiki/Acuerdo\\_de\\_Suministro\\_Provisional\\_de\\_Infraestructura\\_de\\_Red](http://es.wikipedia.org/wiki/Acuerdo_de_Suministro_Provisional_de_Infraestructura_de_Red).
3. **Wikitel.** Comunicaciones móviles 1G. [En línea] <http://wikitel.info/wiki/1G>.
4. **Wikipedia.** Sistema global para las comunicaciones móviles. [En línea] [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_global\\_para\\_las\\_comunicaciones\\_m%C3%B3viles](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles).
5. —. NSS. [En línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/NSS>.
6. **Ramón Muñoz.** El País. [En línea] [http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2014/04/03/actualidad/1396522771\\_019134.html](http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2014/04/03/actualidad/1396522771_019134.html).
7. **Wikispaces.** Redes en telefonía celular. [En línea] <http://rayansple.wikispaces.com/Redes+en+telefon%C3%ADa+celular>.
8. **Hernando Rábanos, José María y Lluch Mesquida, Cayetano.** Comunicaciones Móviles de Tercera Generación. s.l. : Telefónica Móviles, S.A, 2000.
9. **Universidad Politécnica de Madrid.** Sistema UMTS. [aut. libro] Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. 2011.
10. **Wikipedia.** UMTS Terrestrial Radio Access Network. [En línea] [http://es.wikipedia.org/wiki/UMTS\\_Terrestrial\\_Radio\\_Access\\_Network](http://es.wikipedia.org/wiki/UMTS_Terrestrial_Radio_Access_Network).
11. **Uhart, Carlos Manosalva.** Monografías. *Telefonía Celular 4G*. [En línea] <http://www.monografias.com/trabajos93/telefonía-celular-4g/telefonía-celular-4g.shtml>.

12. **Wikipedia.** Jerarquía digital plesiócra. [En línea]  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa\\_digital\\_plesi%C3%B3cra](http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_plesi%C3%B3cra).
13. —. Jerarquía digital síncrona. [En línea]  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa\\_digital\\_s%C3%ADncrona#Multiplexaci.C3.B3n\\_SDH\\_-\\_2Mbps\\_.28E1.29](http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_s%C3%ADncrona#Multiplexaci.C3.B3n_SDH_-_2Mbps_.28E1.29).
14. —. Ethernet. [En línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
15. **Iquall.** Iquall. *Diseño de red*. [En línea] <http://www.iquall.net/es/servicios/servicios-profesionales/disenode-red.html>.
16. **Universidad de Costa Rica.** PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES MÓVILES CON LA TECNOLOGÍA “LONG TERM EVOLUTION (LTE)” EN COSTA RICA. [En línea]  
<http://dc110.4shared.com/img/2IBIZyXO/preview.html#5.1>.Proceso de estandarización de LTE [ 17]|outline.
17. **Alcatel Lucent.** Microwave Transmission. [En línea]  
[file:///C:/Users/Mar%C3%ADA/Downloads/MKT2014066467EN\\_9500MPR\\_Microwave\\_Backhaul\\_LTE\\_AppNote.pdf](file:///C:/Users/Mar%C3%ADA/Downloads/MKT2014066467EN_9500MPR_Microwave_Backhaul_LTE_AppNote.pdf).
18. **Xataka Móvil.** Todos los detalles de la cobertura 4G en España y las ciudades donde ya está desplegada. [En línea] <http://www.xatakamovil.com/conectividad/todos-los-detalles-de-la-cobertura-4g-en-espana-y-las-ciudades-donde-ya-esta-desplegada>.
19. **ITU.** Rec. UIT-R P.530-7. [En línea] [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-7-199708-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-7-199708-S!!PDF-S.pdf).

